

TUGAS AKHIR - TM 141585

APLIKASI CAM TOPSOLID7 UNTUK MEMBANTU PROSES PEMESINAN KOMPONEN

DICKY RACHMAT RIYANTO
NRP 2115 105 040

Dosen Pembimbing
Prof. Dr.Ing. I Made Londen Batan, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR -TM141585

APLIKASI CAM TOPSOLID7 UNTUK MEMBANTU PROSES PEMESINAN KOMPONEN

DICKY RACHMAT RIYANTO
NRP. 2115105040

Dosen Pembimbing
Prof. Dr.Ing. I Made Londen Batan, M.Eng.

LAB. PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN PRODUK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT -TM141585

***TOPSOLID7 CAM APPLICATION FOR
MACHINING***

DICKY RACHMAT RIYANTO
NRP. 2115105040

Supervisor
Prof. Dr.Ing. I Made Londen Batan, M.Eng.

***PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT LABORATORY
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017***

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**APLIKASI CAM TOPSOLID7 UNTUK MEMBANTU
PROSES PEMESINAN KOMPONEN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

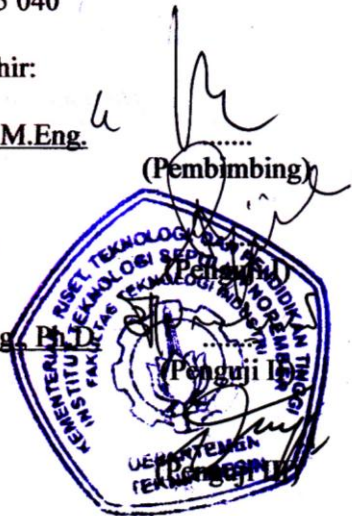
Oleh:

DICKY RACHMAT RIYANTO

NRP. 2115 105 040

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- 1 Prof. Dr.Ing. I Made Londen B., M.Eng.
NIP. 195811061986011002
- 2 Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197303222001121001
- 3 Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D.
NIP. 196912031994031001
- 4 Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP. 2100201405001



**SURABAYA
Juli 2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APLIKASI CAM TOPSOLID7 UNTUK MEMBANTU PROSES PEMESINAN KOMPONEN

Nama Mahasiswa : Dicky Rachmat Riyanto

NRP : 2115105040

Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS

Pembimbing : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., M.Eng.

Abstrak

Teknik Mesin ITS sebagai perwakilan Pemerintah Indonesia bekerja sama dengan KODAMA Coorporation sebagai perwakilan JICA. Kerjasama dilakukan dalam rangka pengembangan sumber daya manusia dalam bidang CAD/CAM. Kerjasama dilakukan dengan menyelenggarakan Kuliah CAD/CAM. Topsolid7 digunakan sebagai media ajar dalam mata kuliah tersebut. Topsolid7 merupakan software CAD/CAM yang dapat digunakan untuk membantu proses pemesinan komponen. Topsolid7 dapat digunakan untuk mengolah gambar benda kerja menjadi G Code dengan menentukan urutan proses pemesinan dan parameter pemesinannya. Oleh karena itu perlu diketahui tahapan apa saja yang harus dilakukan pada Topsolid7 untuk mengolah gambar benda kerja menjadi G Code, dan bagaimana G Code tersebut digunakan dalam proses pemesinan pada mesin CNC.

Dalam Penelitian ini software Topsolid7 akan diaplikasikan untuk membantu proses pemesinan komponen. Penggunaan software Topsolid7 dimulai dari membuat atau mengimpor gambar benda kerja, lalu membuat Toolpath sesuai urutan proses pemesinannya, dan membuat G Code yang sesuai dengan mesin yang akan digunakan dari Toolpath tersebut. Mesin yang akan digunakan adalah CNC Turning dengan control Siemens turn, dan CNC Milling dengan control Fanuc. Setelah G Code dibuat, dilakukan running test pada G Code dan G Code

dieksekusi pada mesin CNC untuk membuat komponen. Komponen yang sudah dibuat kemudian diukur dimensinya untuk memastikan bahwa dimensi hasil pemesinan berada pada daerah toleransinya.

Untuk menggunakan Software Topsolid CAM diperlukan gambar 3D komponen, bentuk dan dimensi raw material, dan rencana proses. Pada penggunaannya langkah-langkah yang dilakukan pada Software Topsolid CAM adalah (1) menentukan mesin yang akan digunakan, (2) menentukan proses yang akan dilakukan, (3) menentukan parameter proses, (4) dan menentukan cutting strategy pada proses tersebut. Pada paket Software Topsolid CAM di Lab. CAE Teknik Mesin ITS hanya tersedia post processor untuk control fanuc 3 axis. Untuk control lainnya G Code disesuaikan secara manual. Oleh karena itu perlu ditambahkan post processor untuk control lainnya, Untuk membuat post processor secara mandiri perlu ditambahkan Software Topsolid.PpGenerator dan dilakukan kajian lanjutan mengenai cara pembuatan post processor pada software tersebut.

Kata kunci : Proses Pemesinan, CAD/CAM, Toolpath, G Code, Control Mesin CNC

TOPSOLID7 CAM APPLICATION FOR MACHINING PROCESS

Name : Dicky Rachmat Riyanto
NRP : 2115105040
Departement : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., M.Eng.

Abstract

Mechanical Engineering Departement FTI-ITS as Indonesian Government Representative collaborate with KODAMA Corporation as JICA Representative. The Purpose of Collaboration is to foster Indonesian human resources with special skill in field of CAD/CAM. The Collaboration held by conducting CAD/CAM course using Topsolid7 Software. Topsolid7 can be use to help complex machining process by provide a G Code. Therefore need to know how to use The G Code provided by Topsolid7 software in Mechanical Engineering Department FIT-ITS to help a machining process.

In this research, Topsolid7 Software is applied to aid the machining process of some mechanical parts in different machine with different control. The research start by load the 3D design file to the Topsolid7 machinning model. The G Code is made by determining and sorting machining process in the Topsolid7 machining model then The G Code is executed in the CNC machine to process the parts. This reaseach use Turning CNC Machine with Siemens Control and Milling CNC Machine with Fanuc Control to execute The G code. After that the parts are measured to ensure that the part's dimensions specification were achieved.

Before using Topsolid CAM Software some items need to be prepared such 3D file, shape and dimensions of raw material dan process planning. To use Topsolid7 the machine should be

determined first, second, determining the process, third, determining the process parameter, the last is determining the cutting strategy. In The Topsolid7 CAM package in Mechanical Engineering Departement FTI-ITS there is only one post processor for Fanuc 3 axis control. For other CNC Control, The G Code should be edited manually. It is necessary to install other post processor for other control or to create other post processor by using Topsolid.PpGenerator. For further research it is necessary to know the method to create other post processor using Topsolid.PpGenerator Software.

Keywords: Machining, CAD/CAM, Toolpath, G Code, CNC Machine Control

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam karena atas segala limpahan rahmat, karunia, dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **"APLIKASI CAM TOPSOLID7 UNTUK MEMBANTU PROSES PEMESINAN KOMPONEN"** dengan baik. Tak lupa shalawat beserta salam semoga selalu terlimpah curahkan kepada Nabi kita Muhammad SAW. Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan program Strata 1 Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak menghadapi kendala. Namun berkat bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, baik moral maupun spiritual akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan banyak dorongan dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak. Diantaranya penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang tidak henti-hentinya berdoa dan mendukung penulis sehingga penulis diberikan kelancaran dalam menyelesaikan laporan akhir ini;
2. Bapak I Made Londen Batan, selaku pembimbing di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang telah memberikan bimbingan, dorongan dan semangat kepada penulis selama proses pembuatan tugas akhir.
3. Bapak Bambang Pramujati, Bapak Sampurno, Bapak Arif Wahjudi, Ibu Dinny Harnany, dan Bapak Wawan Aries Widodo selaku dosen Teknik Mesin yang telah memberikan pengajaran, nasihat dan dorongan kepada penulis.
4. Seluruh teman seperjuangan Lintas Jalur angkatan 2015.

5. Dan semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan motivasi dan segala bantuan serta masukan dalam penulisan laporan akhir ini.

Kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi siapa pun yang akan menjadikan referensi dalam pengembangan ilmu dan pengetahuan.

Surabaya, Juli 2017

Dicky R. Riyanto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1. <i>Computer Aided Manufacturing</i>	7
2.1.1. Definisi.....	7
2.1.2. Beberapa <i>Software</i> yang Memiliki Fitur CAM ...	10
2.1.3. Aplikasi CAM untuk Proses Pemesinan	
Komponen.....	18
2.2. Mesin Perkakas CNC.....	20
2.2.1. Komponen proses pemesinan pada mesin CNC..	20
2.2.2. Jenis – jenis mesin CNC.....	22
2.3. Proses Pemesinan.....	23
2.3.1. Proses Bubut.....	30
2.3.2. Proses Gurdi.....	31
2.3.3. Proses Freis.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2. Langkah – langkah Penelitian.....	36
3.2.1. Studi Literatur dan Lapangan.....	36

3.2.2.	Mengimpor atau membuat Gambar Kerja pada Topsolid7 CAD.....	36
3.2.3.	Pembuatan <i>Toolpath</i> menggunakan Topsolid7 CAM	38
3.2.4.	Pembuatan G Code menggunakan Topsolid7 CAM	44
3.2.5.	Persiapan Program, Persiapan Benda Kerja dan Pahat Potong	45
3.2.6.	<i>Running Test</i> G Code Pada Mesin CNC.....	47
3.2.7.	Pembuatan Komponen Pada mesin CNC	48
3.2.8.	Verifikasi Dimensi Benda Kerja Hasil Pemesinan	48
3.2.9.	Kesimpulan dan Saran	48
BAB IV PEMBAHASAN		49
4.1	Pemilihan mesin yang akan digunakan.....	49
4.2	Rencana Proses Pemesinan	51
4.2.1	Rencana Proses Pemesinan pada Mesin CNC 2 <i>Axis (Turning)</i>	51
4.2.2	Rencana Proses Pemesinan pada Mesin CNC 3 <i>Axis (Milling)</i>	58
4.2.3	Rencana Proses Pemesinan pada Mesin CNC 5 <i>Axis (Milling)</i>	62
4.3	Pembuatan <i>Toolpath</i>	63
4.3.1	Pembuatan <i>Toolpath</i> pada mesin CNC 2 <i>Axis</i> (<i>Turning</i>).....	63
4.3.2	Pembuatan <i>Toolpath</i> pada mesin CNC 3 <i>Axis</i> (<i>Milling</i>).....	65
4.3.3	Pembuatan <i>Toolpath</i> pada mesin CNC 5 <i>Axis</i> (<i>Milling</i>).....	67
4.4	Pembuatan G Code	67
4.5	Contoh Pembuatan Komponen	73
4.5.1	<i>Dies Ironing</i>	73
4.5.2	<i>Head Cylinder</i>	75
BAB V KESIMPULAN		81
5.1	Kesimpulan	81

5.2	Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....		xxiii
LAMPIRAN A		xxv
LAMPIRAN B		xxvii
LAMPIRAN C		xxix
LAMPIRAN D		xxxi
BIOGRAFI.....		xxxiii

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Contoh Gambar Komponen 3D pada Topsolid7	2
Gambar 1. 2 Contoh <i>Toolpath</i> Proses Pemmesinan Komponen pada Topsolid7	2
Gambar 2. 1 Simulasi Proses Pemmesinan pada CATIA V5	11
Gambar 2. 2 Contoh CMM <i>Programming</i> pada NX Siemens 7.5	12
Gambar 2. 3 Ilustrasi bukaan <i>Parting Line</i> pada CimatronE 9.0 ..	14
Gambar 2. 4 Ilustrasi <i>Toolpath</i> pada MasterCAM X9	15
Gambar 2. 5 Ilustrasi Perancangan Pahat Potong pada Topsolid7.....	16
Gambar 2. 6 Alur Proses Pembuatan Komponen menggunakan CAM (Xun Xu, 2009)	18
Gambar 2. 7 Grafik Kecepatan Potong – Kekerasan Material (J. A. Schey, 2000).....	25
Gambar 2. 8 Grafik Hubungan Kecepatan Potong dan umur pahat (Kalpakjian, 2008)	29
Gambar 2. 9 Ilustrasi Proses Bubut (Kalpakjian,2008)	30
Gambar 2. 10 Berbagai Macam Proses Gurdi (Kalpakjian, 2008)	31
Gambar 2. 11 (a) <i>Insert</i> pada Proses Fraises (b) <i>Climb Milling</i> (c) <i>Conventional Milling</i> (d) Permukaan Benda Kerja yang diproses pada Proses <i>Face Milling</i> (Kalpakjian, 2008).....	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 3. 2 Alur Impor <i>file</i> untuk Topsolid7	37
Gambar 3. 3 Diagram Alir pembuatan <i>Toolpath</i> menggunakan Topsolid7.....	38
Gambar 3. 4 Ilustrasi Gambar Benda Kerja, <i>Raw Material</i> dan WCS	39
Gambar 3. 5 Ilustrasi Simulasi	42
Gambar 3. 6 Ilustrasi Hasil Verifikasi Proses Bubut.....	43

Gambar 3. 7 Diagram Alir Pembuatan G Code menggunakan Topsolid7 CAM.....	44
Gambar 3. 8 Ilustrasi Pemasangan Benda Kerja pada <i>Chuck</i>	45
Gambar 3. 9 <i>Tool Offset</i> pada Mesin Fanuc Robodrill <i>Tapping</i> <i>Center</i>	46
Gambar 3. 10 Contoh <i>Work Offset</i> pada Mesin Bubut CNC Mori Seiki.....	47
Gambar 3. 11 Simulasi pada Mesin CNC Bubut Mori Seiki.....	47
 Gambar 4. 1 Gambar 3D (a) <i>Ironing Dies</i> (b) <i>Head Cylinder</i> Model (c) <i>Impeller Model</i>	49
Gambar 4. 2 Rencana Proses 2 <i>axis</i> (a) Operasi Pertama (b) Operasi Kedua	51
Gambar 4. 3 Sketsa Contoh Perhitungan Proses <i>Roughing</i>	52
Gambar 4. 4 Potongan Tabel Rekomendasi untuk Proses Bubut ..	54
Gambar 4. 5 Sketsa Contoh Perhitungan Proses <i>Drilling</i>	54
Gambar 4. 6 Potongan Tabel Rekomendasi untuk Proses Gurdi...	56
Gambar 4. 7 <i>Raw Material Model Head Cylinder</i>	58
Gambar 4. 8 Rencana Proses 3 <i>Axis</i> (a) Operasi Pertama (b) Operasi Kedua	59
Gambar 4. 9 Sketsa Contoh Perhitungan Proses <i>Milling</i>	60
Gambar 4. 10 Rencana Proses 5 <i>Axis</i>	62
Gambar 4. 11 Ilustrasi <i>Toolpath</i> menggunakan Fitur <i>Chuck</i> <i>Limit</i>	63
Gambar 4. 12 CAM 2 <i>Axis</i> (a) <i>Toolpath</i> Operasi 1(b) <i>Toolpath</i> Operasi 2 (c) Hasil Verifikasi Operasi 1(c) Hasil Verifikasi Operasi 2.....	64
Gambar 4. 13 CAM 3 <i>Axis</i> (a) <i>Toolpath</i> Operasi 1(b) <i>Toolpath</i> Operasi 2 (c) Hasil Verifikasi Operasi 1(c) Hasil Verifikasi Operasi 2.....	65
Gambar 4. 14 Profil Permukaan pada Proses <i>Finishing</i> 3 <i>Axis</i> (a) Operasi 1 (b) Operasi 2	66
Gambar 4. 15 Hasil CAM 5 <i>Axis</i> (a) <i>Toolpath</i> (b) Verifikasi	67
Gambar 4. 16 <i>Running Test</i> (a) Simulasi bubut operasi pertama pada <i>software</i> pemeriksa G Code (b) <i>Dry Run</i>	73

Gambar 4. 17 (a) Dimensi yang Diukur pada <i>Dies</i> (b) Proses <i>Setting</i> Pahat Potong	74
Gambar 4. 18 <i>Running Test</i> (a) Simulasi <i>Milling</i> Operasi Pertama pada <i>Software</i> Pemeriksa G Code (b) <i>Dry Run</i>	75
Gambar 4. 19 Dimensi yang Diukur pada Model <i>Head Cylinder</i> .	76
Gambar 4. 20 Fitur <i>Pocket</i> dan Pahat Potong (a) Bagian <i>Pocket</i> pada Produk (b) Pahat Potong yang Digunakan.....	77
Gambar 4. 21 (a) Dinding Sambungan Pipa Radiator (b) <i>Toolpath</i> pada Dinding Sambungan Pipa Radiator	78
Gambar 4. 22 Hasil Pemesinan pada Permukaan 3D (a) Operasi 1 (b) Operasi 2.....	78
Gambar 4. 23 Hasil Verifikasi pada Permukaan 3D (a) Operasi 1 (b) Operasi 2.....	79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kemampuan <i>Software</i>	17
Tabel 2. 2 Mesin CNC dan Proses Pemesinannya (Xun Xu, 2009)	23
Tabel 2. 3 Faktor Kecepatan Potong dan Gerak Makan Beberapa Jenis Proses	26
Tabel 2. 4 Pengurangan Kecepatan Potong dan Gerak Makan	28
 Tabel 3. 1 Daftar konfigurasi mesin CNC pada Tpsolid7	 40
 Tabel 4. 1 Konfigurasi Mesin yang akan digunakan	 50
Tabel 4. 2 Daftar Proses dan Pahat Potong pada Mesin CNC <i>Turning</i>	52
Tabel 4. 3 Parameter Proses Pembuatan <i>Dies</i>	57
Tabel 4. 4 Daftar Proses <i>Milling</i> dan Pahat Potong yang digunakan	59
Tabel 4. 5 Parameter Proses Pembuatan <i>Head Cylinder</i> Model....	61
Tabel 4. 6 Daftar Proses 5 <i>Axis</i>	62
Tabel 4. 7 Contoh <i>Editing</i> G Code	72
Tabel 4. 8 Hasil Pengukuran <i>Dies Ironing</i>	74
Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Model <i>Head Cylinder</i>	77

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

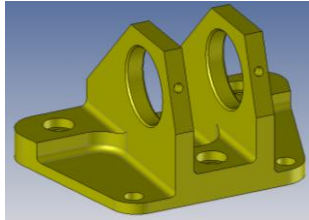
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

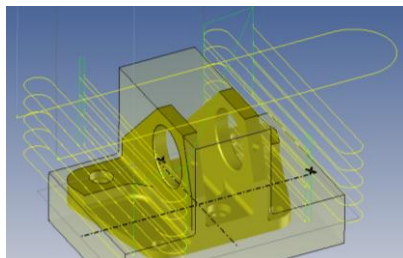
Japan International Cooperation Agency (JICA) merupakan lembaga yang didirikan pemerintah Jepang untuk membantu negara berkembang. Sebagai salah satu negara berkembang, Indonesia bekerjasama dengan JICA. Salah satu bentuk kerjasama yang dilakukan adalah pengembangan sumber daya manusia dalam bidang CAD/CAM. CAD/CAM adalah perangkat yang digunakan untuk merancang komponen dan konstruksi mekanik, merencanakan proses pemesinannya dan membuat program pemesinannya. Kerjasama ini dilakukan oleh empat institusi, yaitu Kodama Cooperation sebagai perwakilan JICA, ITS, POLMAN Bandung, dan ATMI Cikarang sebagai perwakilan dari pemerintah Indonesia. Dalam hal ini, Teknik Mesin ITS menjadi salah satu institusi yang bekerjasama dengan JICA. Kerjasama dilakukan dengan menyelenggarakan kuliah CAD/CAM. Media ajar yang digunakan pada kuliah ini adalah *software* Topsolid7.

Topsolid7 merupakan salah satu *software* CAD/CAM yang digunakan untuk mendukung persiapan proses produksi/manufaktur. Topsolid7 dapat digunakan untuk merancang komponen mekanik didukung dengan simulasi kinematikanya dan dapat digunakan untuk merancang perkakas seperti *mold* dan *progressive dies*. Gambar 3D yang dibuat pada *software* Topsolid7 dapat dikonversi menjadi gambar 2D menggunakan salah satu fitur pada Topsolid7. Selain itu Topsolid7 juga dapat membantu proses pemesinan dengan membuat G Code untuk proses pemesinan CNC bubut, freis, gurdi dan *wire cut*. Pada fitur ini gambar dari benda kerja menjadi acuan awal dalam membantu proses pemesinan. Gambar 1.1 merupakan salah satu contoh gambar 3D yang dihasilkan *software* Topsolid7.



Gambar 1. 1 Contoh Gambar Komponen 3D pada Topsolid7

Untuk membuat G Code, pertama-tama gambar 3D dibuat pada Topsolid7 atau diimpor dari format 3D lainnya, kemudian gambar dipindah ke *machining model* pada Topsolid7. Pada *machining model* ditentukan urutan proses pemesinannya sesuai dengan pahat potong dan mesin yang akan digunakan. Setelah urutan proses ditentukan Topsolid7 dapat melakukan verifikasi hasil proses pemesinan tersebut untuk memastikan dimensi benda kerja sudah sesuai spesifikasi. Jalur pergerakan pahat potong pada proses pemesinan disebut dengan *toolpath*. Pada *machining model*, *toolpath* ditunjukkan dengan bentuk garis-garis seperti pada gambar 1.2. Informasi *toolpath* disimpan dalam bentuk CL *file* yang dapat dikonversi menjadi G Code. Setelah didapatkan G Code, G Code dimasukkan ke dalam mesin CNC untuk dieksekusi.



Gambar 1. 2 Contoh *Toolpath* Proses Pemesinan Komponen pada Topsolid7

Topsolid7 digunakan sebagai media ajar pada kuliah CAD/CAM. Materi yang diberikan pada kuliah tersebut adalah perancangan produk dan komponennya, perancangan *core* dan *cavity* pada *mold*, dan dasar perencanaan proses pemesinan suatu komponen. Namun demikian, hingga saat ini belum ada contoh nyata yang dibuat.

Untuk itu, perlu diketahui bagaimana tahapan yang dilakukan pada Topsolid7 untuk membantu proses pemesinan komponen mulai dari gambar kerja hingga menjadi G Code, dan bagaimana G Code tersebut dapat digunakan untuk membuat komponen-komponen mekanik. Untuk memenuhi tujuan tersebut maka pada tugas akhir ini akan dilakukan penyusunan cara mengaplikasikan *software* CAM Topsolid7 untuk membantu proses pembuatan (pemesinan) komponen-komponen agar aplikasi CAD/CAM dapat dipakai untuk berbagai kebutuhan pendidikan di ITS khususnya Departemen Teknik Mesin.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

- 1) Apa saja tahapan yang dilakukan pada Topsolid7 untuk membantu proses pemesinan komponen mulai dari gambar benda kerja hingga menjadi G Code.
- 2) Bagaimana menerapkan G Code dari *software* Topsolid7 untuk membantu pemesinan komponen-komponen.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- 1) Mengetahui cara membuat *toolpath* dari gambar benda kerja pada *software* Topsolid7.
- 2) Mengetahui cara membuat G Code yang sesuai dengan *control* pada mesin menggunakan *software* Topsolid7.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

- a. Perangkat lunak yang digunakan adalah Topsolid7 pada Lab. CAE Teknik Mesin ITS.
- b. Mesin yang digunakan adalah CNC *turning* dengan Siemens *control* dan CNC *milling* dengan Fanuc *control*.
- c. Spesifikasi komponen yang akan dipenuhi hanya spesifikasi dimensi komponen.
- d. Tidak membahas rancangan dan spesifikasi komponen.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- a. Sebagai sumber informasi tentang cara membuat *toolpath* menggunakan *software* Topsolid7.
- b. Sebagai sumber informasi tentang cara membuat G Code yang sesuai dengan *control* pada mesin menggunakan *software* Topsolid7.
- c. Sebagai rujukan yang dapat digunakan pada mata kuliah CAD/CAM khususnya untuk mengaplikasikan *software* Topsolid7 pada proses pemesinan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1. *Computer Aided Manufacturing*

2.1.1. Definisi

Computer Aided Manufacturing (CAM) adalah perangkat komputer yang digunakan untuk membantu proses pembuatan (manufaktur) suatu produk. Perangkat CAM terbagi menjadi dua kategori yaitu :

- 1) Perangkat yang digunakan untuk memonitor dan mengendalikan proses manufaktur.
- 2) Perangkat pendukung proses manufaktur baik sebelum dan sesudah proses manufaktur.

Pada kategori pertama, komputer langsung terhubung dengan peralatan produksi untuk memonitor dan mengendalikan proses manufaktur. Contohnya pada industri kemasan (*packaging*). Setiap sensor dan mesin terhubung pada suatu perangkat yang digunakan untuk memeriksa produk-produk yang hendak dikirim, dan mengendalikan mesin-mesin produksi untuk memilah dan mengemasnya pada kemasan-kemasan tertentu dengan jumlah tertentu.

Pada kategori kedua, perangkat dapat melakukan setiap fungsi pendukung proses manufaktur yang dilakukan oleh komputer agar proses produksi dapat berjalan sesuai rencana.

Fungsi pendukung itu diantaranya adalah :

1) Perencanaan dan Penjadwalan Proses (*Process Planning*)

Pada CAM fungsi perencanaan dan penjadwalan, proses diaplikasikan dalam berbagai fungsi diantaranya adalah :

- a. Menentukan proses pembuatan komponen baik CNC maupun manual.
- b. Menentukan urutan susunan (*assembly*) suatu produk.
- c. Memberi informasi untuk membantu proses NC *programming*, seperti definisi produk, mesin perkakas yang dapat digunakan, pahat potong, dan material komponen yang akan dibuat.

2) Perancangan Perkakas (*Mold, Die and Tooling Design*)

Pada fungsi perancangan perkakas, fungsi perancangan pada CAM berbeda dengan CAD. Pada fungsi perancangan, CAM akan membantu proses-proses yang tidak terdapat pada CAD seperti :

- a. Menentukan dan merekomendasikan *parting line* komponen karet, plastik ataupun coran logam.
- b. Membuat *draft angle* yang sesuai dengan spesifikasi produk.
- c. Menentukan *layout* proses dan menghitung efisiensi material pada *layout* proses *stamping (progressive die)*.

3) NC *Programming*

Pada NC *programming* CAM memiliki beberapa fungsi seperti :

- a. Menentukan proses pemesinan CNC.
- b. Membuat *toolpath* untuk proses pemesinan CNC.
- c. Membuat G *Code* untuk proses pemesinan CNC.

4) Lain-lain seperti CMM *Programming*.

Untuk kategori kedua, perangkat CAM biasanya sudah terintegrasi dengan CAD, karena gambar acuan yang digunakan oleh CAM dapat dibuat atau dibuka oleh CAD. CAD (*Computer Aided Design*) adalah perangkat komputer yang digunakan untuk menggambar suatu komponen ataupun rangkaian.

Beberapa *software* mengintegrasikan pula CAD, CAE dengan CAM. CAE (*Computer Aided Engineering*) adalah perangkat komputer yang digunakan untuk membantu melakukan analisa teknis dari suatu produk. Pada *software* ini produk digambar menggunakan CAD, dianalisa kekuatan ataupun ergonominya menggunakan CAE, dan direncanakan proses manufakturnya menggunakan CAM.

2.1.2. Beberapa *Software* yang Memiliki Fitur CAM

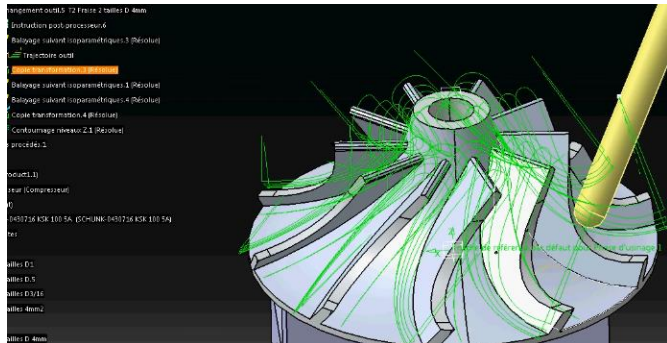
Untuk CAM kategori kedua, banyak *software* yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Berbagai fungsi dapat dipenuhi dalam satu perangkat lunak. Beberapa jenis perangkat lunak tersebut adalah :

1) CATIA V5R21

CATIA V5 merupakan paket *software* yang terdiri dari CAD, CAM dan CAE. CATIA V5 dapat digunakan untuk berbagai macam pekerjaan dari mulai merancang dan menggambar komponen, merancang rangkaian listrik, merancang sistem perpipaan, analisa menggunakan FEM (*Finite Element Method*), analisa menggunakan RULA (*Rapid Upper Lumb Assesment*), dan NC *Programming*. Banyak industri yang telah menggunakan CATIA dari mulai dirgantara, otomotif, perkapalan, kemasan, energi dan elektronik.

Sebagai *software* CAM, CATIA V5 memiliki beberapa fitur yang digunakan untuk membantu proses produksi. Untuk proses perancangan, fitur CAM CATIA dapat membantu merancang *mold* secara utuh (*core and cavity plates* maupun *mold assembly*), dan merancang pahat potong untuk digunakan pada proses pemesinan CNC. Untuk proses pemesinan CNC, CAM CATIA dapat membuat program NC untuk mesin 2 *axis*, 3 *axis*, 4 *axis*, 5 *axis* dan *mill-turning center*, melakukan simulasi proses pemesinan sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.1, dan melakukan verifikasi proses pemesinan. Selain itu, CATIA dapat membuat program untuk proses pembuatan purwarupa secara cepat (*Rapid Prototyping*), dan membuat program untuk mengukur benda kerja menggunakan mesin

CMM (*Coordinate Measurement Machine*), atau CMM programming.



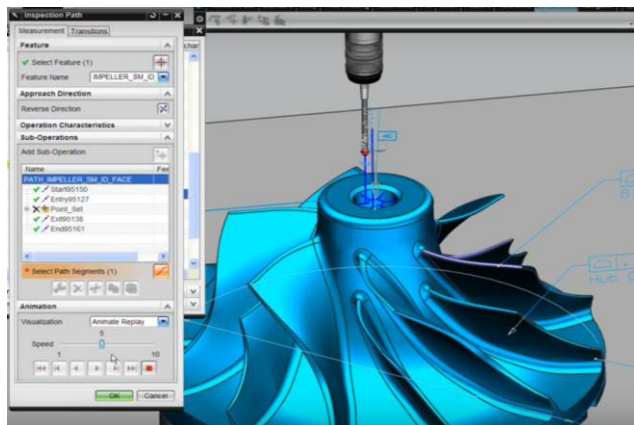
Gambar 2. 1 Simulasi Proses Pemessinan pada CATIA V5

Untuk membantu proses pemesinan CNC, CATIA V5 dapat membuat program NC dengan berbagai pilihan menu. Untuk proses pemesinan pada mesin CNC 2 *axis*, CATIA V5 menyediakan fitur *lathe machining*. Untuk proses pemesinan pada mesin CNC 3 *axis*, CATIA V5 menyediakan dua fitur, pertama, *prismatic machining* untuk proses pemesinan 2D (*face mill*, *end mill* dan *drilling*), dan kedua, *surface machining* untuk proses 3D (*roughing* dan *finishing*). Untuk proses pemesinan pada mesin CNC 4 *axis*, 5 *axis* dan *mill-turning centre*, CATIA V5 menyediakan fitur *advanced machining*.

2) NX Siemens 7.5

NX Siemens 7.5 merupakan paket *software* yang terdiri dari CAD, CAM, dan CAE. NX Siemens 7.5 dapat digunakan untuk berbagai macam pekerjaan dari mulai merancang dan menggambar komponen, merancang rangkaian listrik, merancang sistem perpipaan, analisa menggunakan FEM (*Finite Element Method*), dan NC *programming*.

Sebagai *software* CAM, NX Siemens 7.5 memiliki beberapa fitur yang digunakan untuk membantu proses produksi. Untuk proses pemesinan CNC, CAM NX Siemens dapat membuat program NC untuk mesin 2 axis, 3 axis, 4 axis, 5 axis dan *machining center*, melakukan simulasi proses pemesinan, dan melakukan verifikasi proses pemesinan. Selain itu, NX Siemens dapat membuat program untuk mengukur benda kerja menggunakan mesin CMM (*Coordinate Measurement Machine*), atau CMM *programming* sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.2.



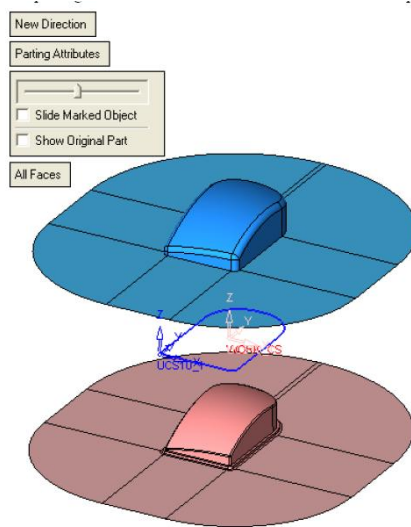
Gambar 2. 2 Contoh CMM *Programming* pada NX Siemens 7.5

Untuk membantu proses pemesinan CNC, NX Siemens 7.5 dapat membuat program NC dengan berbagai menu sesuai kebutuhan. Untuk proses pemesinan pada mesin CNC 2 *axis*, NX Siemens menyediakan fitur *turning*. Untuk proses pemesinan pada mesin CNC 3 *axis*, NX Siemens menyediakan fitur *machinery*. Untuk mesin perkakas CNC 4 *axis* dan 5 *axis*, NX Siemens menyediakan fitur *Multi-axis*. Untuk *mill-turning centre*, NX Siemens menyediakan fitur *mill turn*.

3) CimatronE 9.0

Cimatron E 9.0 merupakan paket *software* CAD dan CAM. CimatronE 9.0 dapat digunakan untuk beberapa pekerjaan diantaranya adalah merancang dan menggambar komponen mekanik khususnya *mold* dan *dies*, dan NC *programming*. Cimatron E 9.0 banyak digunakan oleh industri pembuatan perkakas presisi (*mold, die, and tooling industry*).

Sebagai *software* CAM, CimatronE 9.0 memiliki beberapa fitur yang digunakan untuk membantu proses produksi. Untuk proses perancangan, fitur CAM CimatronE 9.0 dapat membantu merancang *mold* secara utuh (*core and cavity plates* maupun *mold assembly*), *dies* (*punch and die* maupun *dies assembly*), dan merancang elektroda untuk proses EDM. Untuk proses pemesinan CNC, CAM CimatronE 9.0 dapat membuat program NC untuk mesin 2.5 *axis*, 3 *axis*, 4 *axis*, dan 5 *axis*, melakukan simulasi proses pemesinan dan melakukan verifikasi proses pemesinan. Gambar 2.3 merupakan ilustrasi proses simulasi bukaan *parting line* pada CimatronE 9.0.

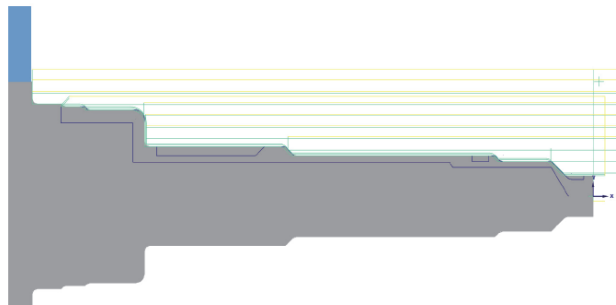


Gambar 2. 3 Ilustrasi bukaan *Parting Line* pada CimatronE 9.0

CimatronE 9.0 dikhususkan untuk industri pembuatan perkakas presisi (*mold, die and tool making*) dan komponen mekanik. Fitur *NC Programming* pada CimatronE 9.0 hanya tersedia pada satu mode yaitu Mode NC. Mode NC digunakan untuk proses pemesinan *2.5 axis* hingga *5 axis*. CimatronE 9.0 tidak dapat membuat program NC untuk mesin CNC bubut dan *mill-turning center*.

4) MasterCAM X9

MasterCAM X9 merupakan paket *software* CAD dan CAM yang paling banyak digunakan untuk NC *programming* (CIMdata). Fitur perancangan pada MasterCAM X9 hanya dapat digunakan untuk menggambar komponen dan mengimport gambar 3D dari *software* 3D CAD lainnya. Sedangkan untuk fitur *Machining* CAM, MasterCAM X9 dapat membuat program NC untuk mesin 2 *axis*, 3 *axis*, 4 *axis*, 5 *axis*, dan *mill-turning centre*. MasterCAM memiliki banyak *post processor* untuk berbagai merk dan jenis mesin. Selain itu MasterCAM X9 dapat membuat program untuk proses *wire cut*. Gambar 2.4 merupakan ilustrasi *toolpath* proses bubut pada MasterCAM X9.



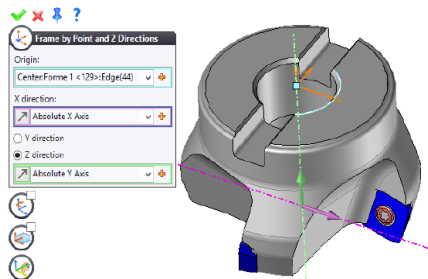
Gambar 2. 4 Ilustrasi *Toolpath* pada MasterCAM X9

Untuk membantu proses pemesinan CNC MasterCAM X9 dapat membuat program NC dengan berbagai menu sesuai kebutuhan. Untuk proses pemesinan pada mesin CNC 2 *axis* MasterCAM X9 menyediakan menu *lathe*. Untuk proses pemesinan frais pada mesin CNC 3 *axis* hingga 5 *axis* MasterCAM X9 menyediakan menu *mill*. Untuk *mill-turning centre* MasterCAM X9 menyediakan menu *mill turn*.

5) Topsolid7

Topsolid7 merupakan salah satu paket *software* CAD dan CAM. Topsolid7 dapat digunakan untuk berbagai macam pekerjaan dari mulai merancang dan menggambar komponen, membuat gambar *assembly*, membuat mekanisme *assembly* dan *NC Programming*. Banyak industri yang telah menggunakan Topsolid7 dari mulai dirgantara, otomotif, perkapalan, dan kemasan.

Sebagai *software* CAM, Topsolid7 memiliki beberapa fitur yang digunakan untuk membantu proses produksi. Untuk proses perancangan, fitur CAM Topsolid7 dapat membantu merancang *mold* secara utuh (*core and cavity plates* maupun *mold assembly*) dan merancang susunan pahat potong (*adaptor, collet* dan *cutter*) untuk proses pemesinan CNC sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.5. Untuk proses pemesinan CNC, CAM Topsolid7 dapat membuat program NC untuk mesin 2 *axis*, 3 *axis*, 4 *axis*, dan 5 *axis*, melakukan simulasi proses pemesinan, melakukan verifikasi proses pemesinan, dan membuat program untuk mesin CNC *Wire Cut*.



Gambar 2. 5 Ilustrasi Perancangan Pahat Potong pada Topsolid7

Untuk membantu proses pemesinan CNC, Topsolid7 dapat membuat program NC pada *machinning model*. Untuk proses pemesinan pada mesin CNC 2 *axis*, atau bubut Topsolid7 menyediakan menu *turning*. Untuk proses pemesinan frais 2.5 *axis* dan 3 *axis*, Topsolid7 menyediakan menu 2D/3D. Untuk proses pemesinan frais 4 *axis* dan 5 *axis*, Topsolid7 menyediakan menu 4D/5D.

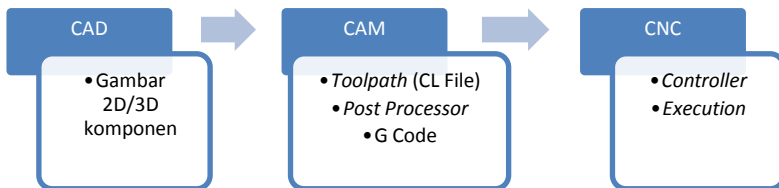
Dari uraian di atas dapat dirangkum kemampuan masing-masing *software* seperti tertulis pada tabel 2.1. Pada Tabel 2.1 versi *software* tertera pada nama *software*.

Tabel 2. 1 Kemampuan *Software*

No	Nama Software	CAD	CAM			CAE
			Design	Machining	Other	
1	CATIA V5R21	2D/3D, Assembly & Mechanism	Mold & Cutting Tools	Turning, Milling & Mill-Turning	CMM Programming & Rapid Prototyping	FEM & RULA
2	NX Siemens 7.	2D/3D, Assembly & Mechanism	Mold (additional) & Dies (additional)	Turning, Milling & Mill-Turning	CMM Programming	FEM
3	CimatronE 9.	2D/3D & Assembly	Mold, Dies & Electrode	Milling	-	-
4	MasterCAM X9	2D/3D	-	Turning & Milling	Wire Cut	-
5	Topsolid7	2D/3D, Assembly & Mechanism	Mold, Cutting Tool, & Dies (additional)	Turning, Milling & Mill-Turning	Wire Cut	FEM (additional)

2.1.3. Aplikasi CAM untuk Proses Pemessinan Komponen

Pada proses pemessinan CNC yang kompleks, proses pemessinan dapat dibantu oleh perangkat CAM. Perangkat CAM akan menyediakan G Code untuk proses tersebut. Secara umum proses pemessinan komponen yang dibantu CAM diawali dengan pembuatan gambar 2D atau 3D dalam bentuk *CAD file*. Setelah itu dilanjutkan dengan dengan mengurutkan proses pemessinannya dan membuat *toolpath* dalam bentuk *CL file*. Setelah itu *CL file* dikonversi oleh *post processor* menjadi G Code yang sesuai dengan *control* pada mesin yang digunakan. G Code dimasukan ke dalam CNC *controller* dan kemudian dieksekusi. Gambar 2.6 menunjukan alur proses pembuatan komponen menggunakan CAM.



Gambar 2. 6 Alur Proses Pembuatan Komponen menggunakan CAM (Xun Xu, 2009)

Toolpath adalah jalur yang dilalui oleh pahat potong pada proses pemessinan CNC. Informasi *toolpath* disimpan dalam suatu bahasa yang disebut dengan *cutter location file* atau *CL file*. *CL file* merupakan bentuk netral dari G Code oleh karenanya istilah lain dari *CL file* adalah *neutral file*.

Post processor adalah bahasa yang digunakan untuk mengkonversi *CL file (neutral G Code)* menjadi G Code yang sesuai dengan *control* pada mesin yang digunakan. Setiap *software* CAM memiliki *software* pendukung untuk membuat *post processor* sehingga G Code dapat digunakan untuk berbagai jenis mesin.

Program yang digunakan untuk menggerakkan pahat potong disebut dengan G Code atau program NC. Program tersebut terdiri atas baris-baris yang terdiri dari angka dan huruf yang memiliki fungsi tertentu. Program tersebut berisikan perintah-perintah pergerakan pahat potong, aktivasi *coolant*, deaktivasi *coolant* dan sebagainya. Pada umumnya program tersebut terdiri dari tiga bagian, yaitu :

- 1) kepala program, yang berisi tentang informasi titik referensi benda kerja, pemanggilan pahat potong dan sebagainya.
- 2) badan program, yang berisi tentang jalur pergerakan pahat potong.
- 3) dan penutup program, yang berisi perintah untuk menghentikan proses pemesinan dan mengembalikan pahat potong pada titik referensi mesin (*home position*).

Kepala program, penutup program, dan perintah proses yang memiliki siklus (*drilling* dan *tapping*) memiliki format yang berbeda sesuai dengan *control* pada mesin yang digunakan. Beberapa contoh *controller* yang ada di pasaran adalah Fanuc, Heidenhan dan Siemens.

2.2. Mesin Perkakas CNC

Kendali numerik (*numerical control*) pada mesin perkakas merupakan perangkat otomasi untuk berbagai fungsi pada mesin perkakas yang dikendalikan dengan huruf dan angka. Mesin perkakas yang dikendalikan dengan kendali numerik disebut dengan Mesin Perkakas CNC. Pada mesin perkakas CNC beberapa fungsi dapat dibuat otomatis seperti memutar dan menghentikan putaran *spindle*, mengendalikan kecepatan putaran *spindle*, dan mengganti pahat potong.

Mesin perkakas CNC dibutuhkan industri-industri yang memproduksi komponen dengan bentuk yang kompleks seperti industri dirgantara dan perkakas presisi.

2.2.1. Komponen proses pemesinan pada mesin CNC

Berikut ini komponen-komponen penunjang proses pemesinan pada mesin perkakas CNC :

1) Mesin Perkakas dan Unit Kendali

Mesin perkakas CNC tidak seperti Mesin Perkakas Konvensional. Pada Mesin Perkakas CNC terdapat MCU (*machine control unit*). Setiap fungsi-fungsi pada mesin perkakas dikendalikan melalui MCU karena pada MCU terpasang *controller* yang digunakan untuk membaca dan mengeksekusi G Code.

2) Program NC (G Code)

Program yang digunakan pada mesin harus sesuai dengan *controller* mesin. Selain itu panjang program harus mampu dibaca oleh mesin, karena setiap mesin memiliki kapasitas *memory* yang berbeda-beda. Jika program dikirim

langsung dari komputer dan diproses secara bersamaan maka kecepatan mesin mengeksekusi program harus lebih cepat dari kecepatan transfer data dari komputer.

3) Pahat Potong

Setiap komponen dibuat dengan berbagai macam proses oleh karena itu pahat potongnya pun akan berbeda sesuai dengan proses yang dilakukan. Yang membedakan pahat potong pada mesin perkakas CNC dengan konvensional adalah perbedaan adaptor. Konfigurasi adaptor untuk mesin perkakas CNC telah di standarisasi oleh ISO. Pada mesin perkakas CNC digunakan penarik dengan daya tertentu untuk menarik dan memegang pahat potong pada bagian *retention knob* atau sering disebut juga dengan *pull stud*. Hal ini untuk memastikan bahwa pahat potong terpasang dengan baik pada *spindle* mesin.

Pada mesin perkakas CNC, setiap pahat potong memiliki data *offset* sebagai kompensasi dari diameter, radius mata potong dan ketinggian pahat potong. Data tersebut harus selalu diperbaharui jika terjadi keausan, diasah, ataupun pergantian pahat potong baru karena kerusakan.

2.2.2. Jenis – jenis mesin CNC

Tiap jenis mesin CNC yang berbeda dapat melakukan proses pemesinan berbeda pula. Perangkat CAM pun dapat mendukung jenis mesin CNC tertentu. Sebagai contoh, CimatronE 9.0 hanya dapat membuat program NC pada mesin CNC *milling 2.5 axis* hingga *5 axis*, sedangkan CATIA V5 dan NX Siemens 7.5 dapat membuat program NC untuk CNC *mill-turning centre*. Menurut kemampuan prosesnya mesin perkakas CNC terbagi menjadi tiga kelompok besar yaitu :

1) *Turning*

Turning adalah mesin CNC yang dapat melakukan proses bubut dan proses pendukung lainnya. Proses pendukung lainnya bergantung pada penambahan *axis* nya, seperti proses *drilling* pada sumbu pusat benda yang dilakukan dengan penambahan *axis* linier yang menggerakkan mata bor. Pada mesin ini benda kerja terhubung langsung dengan poros utama (*spindle*) menggunakan *chuck*, *collet* atau pun *fixture* lainnya.

2) *Milling*

Milling adalah mesin CNC yang dapat melakukan proses frais dan proses pendukung lainnya. Proses pendukung lainnya bergantung pada penambahan *axis* nya ataupun mekanisme lain pada tiap motor penggerakannya. Seperti pada proses *tapping* menggunakan poros utama (*spindle*), dimana diperlukan pergerakan linier dan rotasi secara simultan sesuai dengan *pitch* dari ulir yang dibuat.

3) *Mill-Turning*

Mill-Turning adalah mesin CNC yang dapat melakukan proses frais, bubut dan proses pendukung lainnya. Proses pendukung lainnya bergantung pada penambahan *axis* nya ataupun mekanisme lain pada tiap motor penggeraknya.

Secara umum, pembagian jenis mesin CNC berdasarkan proses pemesinannya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Mesin CNC dan Proses Pemesinannya (Xun Xu, 2009)

<i>Machine Tool</i>	<i>Description</i>	<i>Machining Operation</i>	
<i>Lathe</i>	<i>2 to 4 axis Turning and Hole Making</i>	<i>Turning</i>	<i>Area, profile, groove, thread</i>
		<i>Hole-Making</i>	<i>Drill, face, countersink, tap, ream</i>
<i>Mill</i>	<i>3 to 5 axis Milling and Hole Making</i>	<i>Milling</i>	<i>Volume, local mill, conventional surface, contour surface, face, profile, pocketing, thread, grooving</i>
		<i>Hole-Making</i>	<i>Drill, face, countersink, tap, ream</i>
<i>Mill-Turn</i>	<i>Mill/Turn centre (2 axis Turning to 5 axis Milling and Hole Making)</i>	<i>Milling</i>	<i>Volume, local mill, conventional surface, contour surface, face, profile, pocketing, thread, grooving</i>
		<i>Turning</i>	<i>Area, profile, groove, thread</i>
		<i>Hole-Making</i>	<i>Drill, face, countersink, tap, ream</i>

2.3. Proses Pemesinan

Proses pemesinan merupakan proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk berbahan logam, plastik dan kayu menggunakan mesin perkakas. Proses pemesinan dipilih karena memiliki tingkat ketelitian dan ketepatan pembuatan yang tinggi. Sampai saat ini proses pemesinan masih menjadi proses yang paling banyak digunakan (60% sampai dengan 80%) dalam membuat suatu komponen mesin.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses pemesinan adalah material benda kerja, material pahat potong, dan kekerasan benda kerja. Dari faktor tersebut dapat dicari nilai parameter potong yang ada pada proses pemesinan yaitu :

- a. Kecepatan Potong (V_c)
- b. Kecepatan Pemakanan (V_f)
- c. Waktu Pemotongan (ct)
- d. Kecepatan Penghasilan Geram (MRR)

Parameter potong tersebut dapat dihitung dari dua parameter dasar, yaitu, kecepatan potong dan gerak makan. Kecepatan potong dan gerak makan dapat dicari melalui persamaan di bawah ini :

Kecepatan Potong :

$$v_c = v_s \times Z_v ; \text{m/min} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

v_c = kecepatan potong ; m/min

v_s = kecepatan potong pada proses roughing ; m/min

Z_v = nilai faktor proses untuk kecepatan potong

Gerak makan :

$$f = f_s \times Z_f ; \text{mm/rev} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

f = gerak makan ; mm/rev

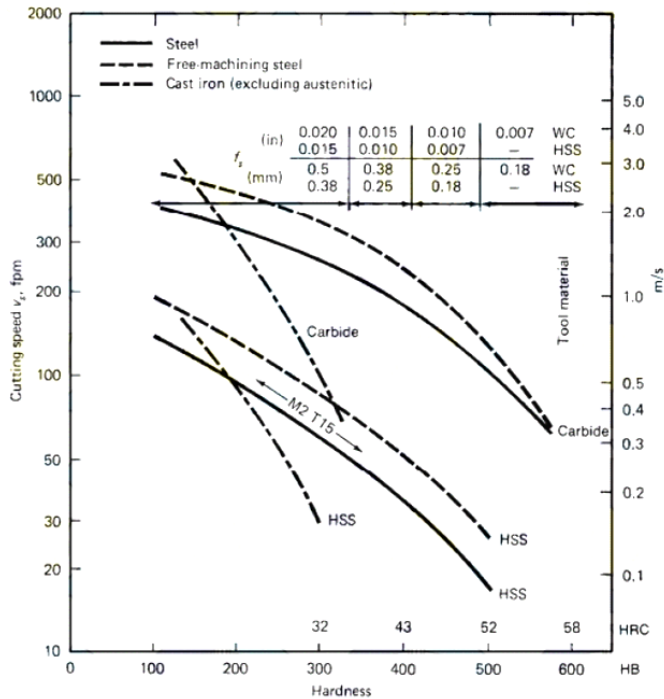
f_s = gerak makan pada proses roughing ; mm/rev

Z_f = nilai faktor proses untuk gerak makan

*Nilai v_s dan f_s didapat dari gambar 2.7.

*Nilai Z_v dan Z_f didapat dari tabel 2.3.

Gambar 2.7 menunjukkan grafik hubungan antara material benda kerja, material pahat potong, dan kekerasan benda kerja terhadap kecepatan potong dan gerak makan. Tabel 2.3 adalah gambar tabel nilai faktor proses terhadap kecepatan potong dan gerak makan.



Gambar 2. 7 Grafik Kecepatan Potong – Kekerasan Material (J. A. Schey, 2000)

Tabel 2. 3 Faktor Kecepatan Potong dan Gerak Makan Beberapa Jenis Proses

Process	Z_v (speed† $v = v_s Z_v$)	Depth of cut		Z_f (feed† $f = f_s Z_f$)	Other
		in	mm		
Rough turning	1	0.15	4	1	
Finish turning	1.2–1.3	0.025	0.65	0.5	
Form tools, cutoff	0.7				In-feed $0.1f-0.2f$
Shaping	0.7	0.15	4		Feed: HSS, 1.5–0.5 mm WC, 2–1 mm ($\times 2$ on Cu, Al and Mg)
Planing	0.7	0.15	4		
Face milling	1	0.15	4	0.8–1‡	
Slab milling	1	0.15	4	0.5‡	
Side and slot milling	0.5–0.7	0.15	4	0.5‡	
End mill, peripheral	1	0.05	1.2	0.5–0.25‡	For 1-in-diam cutter
End mill, slotting	1	0.05	1.2	0.2‡	
Threading, tapping	0.5–0.25				Slower for coarser thread

*Approximate values, compiled from *Machining Data Handbook*, 3d ed., Machinability Data Center, Metcut Research Associates, Cincinnati, Ohio, 1980.

†Take v_s and f_s from Fig. 8-44 or 8-45.

‡Feed per tooth.

Untuk proses gurdi, kecepatan potong dan gerak makan dipengaruhi oleh diameter gurdi, jenis material yang dipotong dan kedalaman pemotongan. Kecepatan potong dan gerak makan dapat dicari menggunakan persamaan di bawah :

Kecepatan Potong Proses Gurdi :

$$v_c = 0.7 \times v_s \text{ (ferrous material) ; m/min.....} \quad (2.3)$$

$$v_c = 0.5 \times v_s \text{ (non-ferrous material) ; m/min.....} \quad (2.4)$$

Dimana :

v_c = kecepatan potong ; m/min

v_s = kecepatan potong pada gambar 2.7 ; m/min

Gerak Makan Proses Gurdi :

$$f = 0.02 \times D \text{ /rev (free mach. material) ; mm/rev.....} \quad (2.5)$$

$$f = 0.01 \times D \text{ /rev(material keras dan tangguh) ; mm/rev.} \quad (2.6)$$

$$f = 0.01 \times D \text{ /rev (material >420 HB) ; mm/rev.....} \quad (2.7)$$

Dimana :

f = gerak makan ; mm/rev

D = diameter mata gurdi ; mm

Jika kedalaman potong proses gurdi tiga kali lipat dari diameter gurdi atau lebih, maka kecepatan potong dan gerak makan harus dikurangi mengikuti kedalam potong proses tersebut. Tabel 2.4 menunjukkan nilai persentase pengurangan kecepatan potong dan gerak makan pada kedalaman lubang tertentu terhadap kecepatan potong dan gerak makan pada kondisi normal.

Tabel 2. 4 Pengurangan Kecepatan Potong dan Gerak Makan

Kedalaman Lubang	Pengurangan Kecepatan Potong (%)	Pengurangan Gerak makan (%)
3 x Diameter	10	10
4 x Diameter	20	10
5 x Diameter	30	20
6 x Diameter	35	20
8 x Diameter	40	20

Setelah didapatkan nilai kecepatan potong dan gerak makan, beberapa parameter dapat dicari, misalkan putaran spindle, kecepatan makan, dan waktu pemotongan. Parameter tersebut dapat dicari menggunakan persamaan di bawah :

Kecepatan Makan :

$$v_f = f \cdot n ; \text{mm/min} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

v_f = kecepatan makan ; m/min

f = gerak makan ; mm/r

n = putaran *spindle* ;r/min*

*persamaan terdapat bagian selanjutnya

Waktu Potong :

$$c_t = l/v_f ; \text{min} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

c_t = waktu potong; min

v_f = kecepatan makan ; m/min

l = panjang pemakanan ; m

Selain parameter pemotongan, umur pahat yang digunakan dapat dicari pula. Umur pahat dipengaruhi oleh kecepatan potong sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.8. Umur pahat potong dapat dicari menggunakan persamaan di bawah ini :

Umur Pahat :

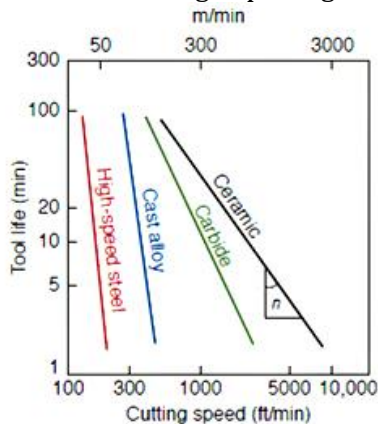
$$T = (C/v)^{\frac{1}{n}}; \text{ min} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

C = kecepatan potong jika umur pahat 1 menit; m/min

v = kecepatan potong ; m/min

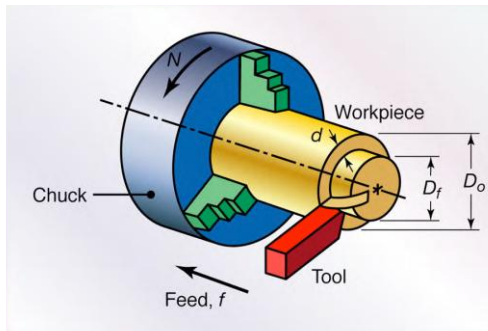
n = invers negatif dari kemiringan pada gambar 2.8



Gambar 2. 8 Grafik Hubungan Kecepatan Potong dan umur pahat (Kalpakjian, 2008)

2.3.1. Proses Bubut

Proses bubut digunakan untuk mengerjakan benda kerja silindris. Pada proses bubut benda kerja terhubung pada poros utama dan diputar. Gerakan pemotongan dilakukan oleh pahat potong dengan gerakan melintang dan memanjang. Gerakan tersebut secara berturut-turut akan mengurangi diameter dan kedalaman/tinggi benda kerja. Gambar 2.9 menunjukkan ilustrasi proses pemotongan benda kerja pada proses bubut. Dimana benda kerja digambarkan berwarna kuning terhubung pada *chuck* yang berputar, dan pahat potong digambarkan berwarna merah melakukan gerakan memotong. Beberapa elemen dasar pada proses bubut dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini :



Gambar 2. 9 Ilustrasi Proses Bubut (Kalpakjian,2008)

Kecepatan Potong :

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} ; \text{m/min} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

v_c = kecepatan potong ; m/min

d = diameter rata – rata ;mm

n = putaran *spindle* ;r/min

$$d = \frac{d_o + d_m}{2} ; \text{ mm} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

d_o = diameter mula – mula ; mm

d_m = diameter akhir ; mm

Kecepatan Makan :

$$v_f = f \cdot n ; \text{ mm/min} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

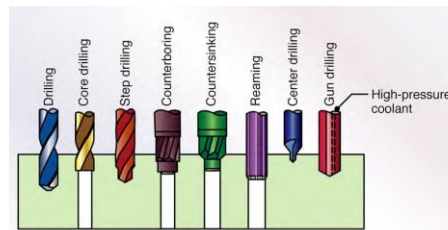
v_f = kecepatan makan ; m/min

n = putaran *spindle* ; r/min

f = gerak makan ; mm/r

2.3.2. Proses Gurdi

Pada proses gurdi pahat potong melakukan gerak potong. Hal ini terjadi karena pahat potong terhubung pada poros utama dan melakukan pergerakan mengikuti sumbu putarnya. Sehingga pahat potong berputar dan bergerak naik dan turun menambah kedalaman lubang. Diameter lubang yang dibuat akan sama dengan diameter pahat potong. Proses gurdi memiliki banyak jenis dengan tujuan yang berbeda-beda. Gambar 2.10 mengilustrasikan berbagai macam proses gurdi yang sering digunakan.



Gambar 2. 10 Berbagai Macam Proses Gurdi (Kalpakjian, 2008)

Beberapa elemen dasar pada proses gudi dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

Kecepatan Potong :

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} ; \text{m/min} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

v_c = kecepatan potong ; m/min

d = diameter pahat potong ;mm

n = putaran *spindle* ;r/min

Kecepatan Makan :

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z ; \text{mm/min} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

v_f = kecepatan makan ; m/min

n = putaran *spindle* ;r/min

f_z = gerak makan ; mm/r

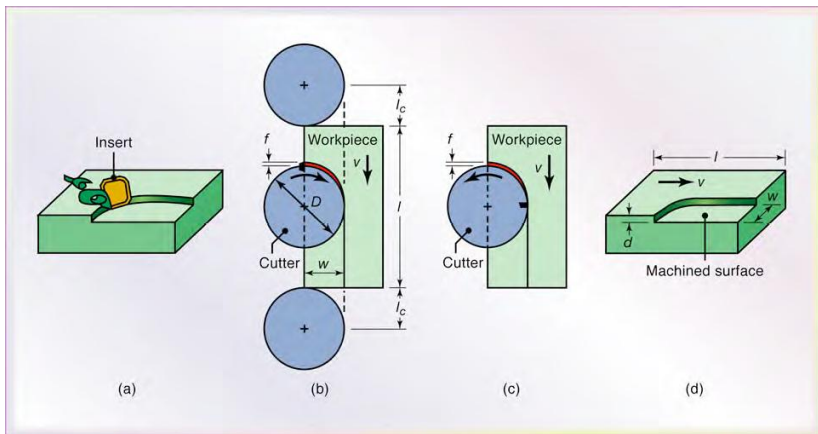
z = jumlah mata potong

2.3.3. Proses Freis

Pada proses freis, pahat potong berputar karena terhubung pada poros utama (*spindle*) dan melakukan proses pemotongan, seperti pada gambar 2.11 (a) yang menunjukkan *insert* pada pahat potong sedang melakukan proses pemotongan. Pahat potong dapat bergerak naik dan turun mengatur kedalaman potong. Meja mesin bergerak memanjang dan melintang membawa benda kerja sehingga terjadi pemotongan memanjang dan melintang.

Terdapat dua jenis proses frais. Yang pertama adalah proses frais datar atau *end milling*, dimana permukaan benda kerja sejajar dengan sumbu pahat potong. Pada proses frais datar terbagi menjadi dua jenis frais naik atau *climb milling* seperti

pada gambar 2.11 (b) dan frais turun atau *conventional milling* seperti pada gambar 2.11 (c). Proses frais naik dan turun ditentukan berdasarkan arah putaran pahat potong dan pergerakan benda kerja. Yang kedua adalah proses frais tegak atau *face milling*, dimana permukaan benda kerja tegak lurus dengan sumbu pahat potong seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 (d). Beberapa elemen dasar pada proses frais dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini :



Gambar 2. 11 (a) *Insert* pada Proses Frais (b) *Climb Milling* (c) *Conventional Milling* (d) Permukaan Benda Kerja yang diproses pada Proses *Face Milling* (Kalpakjian, 2008)

Kecepatan Potong :

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} ; \text{m/min} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

v_c = kecepatan potong ; m/min

d = diameter pahat potong ;mm

n = putaran *spindle* ;r/min

Kecepatan Makan :

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z ; \text{ mm/min} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

v_f = kecepatan makan ; m/min

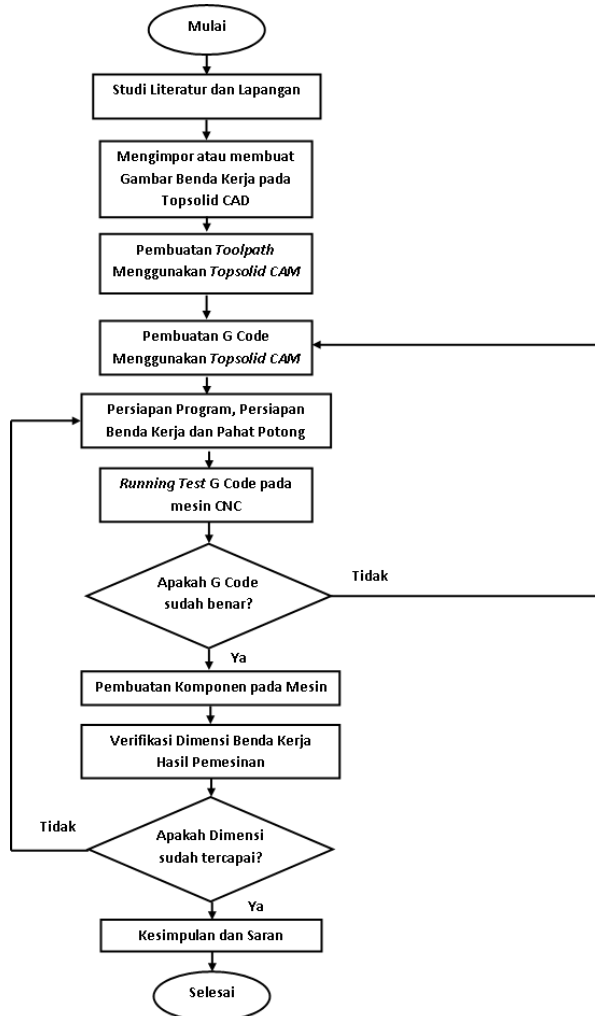
n = putaran *spindle* ;r/min

f_z = gerak makan ; mm/r

z = jumlah mata potong

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 adalah gambar diagram alir yang dilakukan pada penelitian ini. Pada bagian selanjutnya akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini.

3.2. Langkah – langkah Penelitian

3.2.1. Studi Literatur dan Lapangan

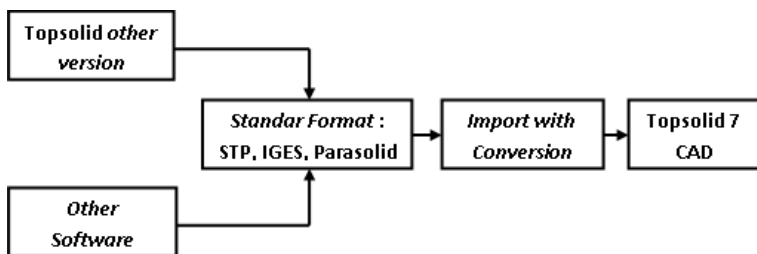
Sebelum mengaplikasikan *software* Topsolid7 dilakukan studi literatur dan lapangan sebagai berikut :

- a. Mempelajari *tutorial guide* Topsolid7
- b. Mencari dan mempelajari *data sheet* Spesifikasi Mesin yang akan digunakan
- c. Mempelajari material komponen yang akan diproses pemesinan
- d. Mempelajari material pahat potong yang akan digunakan
- e. Mencari *data sheet cutting parameter* yang sesuai untuk material pahat potong dan material komponen

3.2.2. Mengimpor atau membuat Gambar Kerja pada Topsolid7 CAD

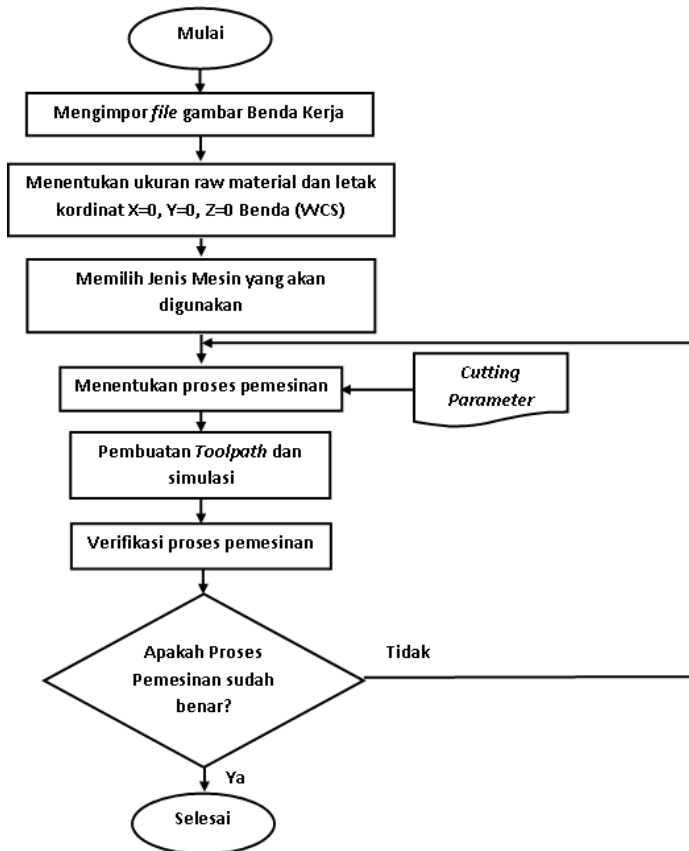
Pembuatan gambar kerja pada Topsolid7 CAD dilakukan dengan menggunakan *part model*. Gambar kerja yang dibuat untuk proses pemesinan adalah gambar kerja 2D ataupun 3D. Gambar yang dibuat harus dipastikan dapat diproses oleh mesin yang akan digunakan. Selain itu pada Topsolid7 gambar kerja dapat diimport dari format yang berbeda. Agar setiap *file* CAD dari berbagai *software* dapat diimpor ke dalam Topsolid CAD pada versi 7 maka *file* CAD harus disimpan pada format CAD yang standar seperti : Parasolid, IGES dan STEP. Setelah itu *file* diimpor dengan mengkonversi *file* tersebut menggunakan menu *import with conversion*, hal ini berlaku pula untuk *software*

Topsolid versi lainnya. Gambar 3.2 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam mengkonversi *file* CAD.



Gambar 3. 2 Alur Impor *file* untuk Topsolid7

3.2.3. Pembuatan *Toolpath* menggunakan Topsolid7 CAM



Gambar 3. 3 Diagram Alir pembuatan *Toolpath* menggunakan Topsolid7

Gambar 3.3 adalah gambar diagram alir pembuatan *toolpath* pada Topsolid7 CAM.

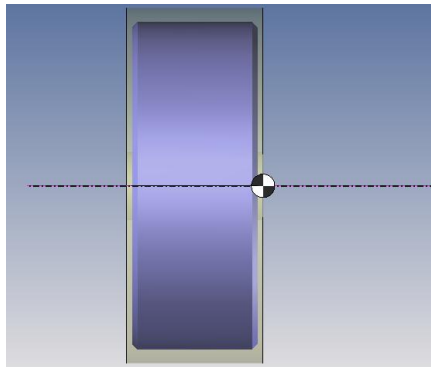
Untuk membuat *toolpath* pada Topsolid7 langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

1) Mengimpor *File* Gambar Benda Kerja

Tahap pertama dalam pembuatan *toolpath* adalah memasukan data gambar kedalam model CAM dengan cara diimpor. Gambar benda kerja yang sudah dibuat diimpor dari *part model* menjadi *machining model*.

2) Menentukan Ukuran *Raw Material* dan Letak Acuan

Pada tahap ini ditentukan bentuk dan ukuran *raw material*, dan ditentukan pula letak titik acuan. Bentuk dan ukuran *raw material* ditentukan pada menu *machined part setup model*. Kemudian titik WCS ($X=0$, $Y=0$, dan $Z=0$) ditentukan menggunakan menu *NC parts postioning*. Pada gambar 3.4 merupakan ilustrasi gambar benda kerja, *raw material* dan titik WCS, dimana *raw material* digambarkan dengan warna transparan dan titik WCS ditunjukan dengan lingkaran berwarna hitam dan putih.



Gambar 3. 4 Ilustrasi Gambar Benda Kerja, *Raw Material* dan WCS

3) Memilih Mesin yang Digunakan

Tahap selanjutnya adalah memilih konfigurasi mesin sesuai dengan mesin yang akan digunakan. Pilihan konfigurasi mesin terdapat pada menu *option*. Tabel 3.1 berisi daftar konfigurasi mesin pada *software* Topsolid 7.

Tabel 3. 1 Daftar konfigurasi mesin CNC pada Topsolid7

NC Machine Milling (Head XYZ AB)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ / Table C)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ A)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ B)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ C)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ / Table AB)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ / Table CB)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ A / Table B)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ A / Table C)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ B / Table C)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ CA)	TopSolid Machining
NC Machine Milling (Head XYZ / Table AC)	TopSolid Machining
NC Machine Turning (XZ/C)	TopSolid Machining

4) Menentukan Proses Pemessinan

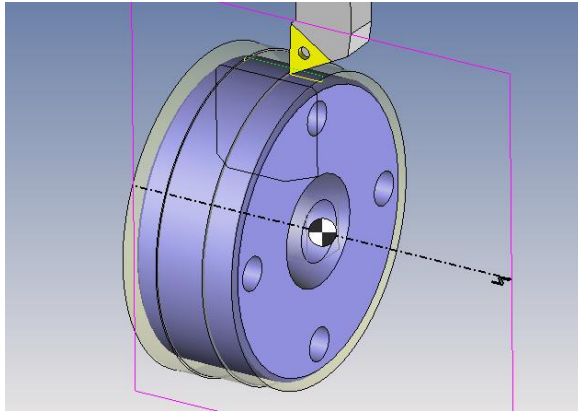
Pada tahap ini, proses pemessinan dipilih sesuai dengan mesin yang digunakan dan pahat potong yang tersedia. Pada *machining model* Topsolid7 terdapat tiga pilihan menu untuk tiap proses pada mesin yang berbeda. Menu 2D/3D digunakan untuk proses freis pada mesin 2.5 *axis* dan 3 *axis*. Menu 4D/5D digunakan untuk proses freis pada mesin 4 *axis* dan 5 *axis*. Menu *turning* digunakan untuk proses bubut. Pada tiap menu terdapat pilihan proses yang dapat digunakan seperti *face milling*, *drilling*, dan lain-lain. Jika proses sudah dipilih, layar akan masuk pada jendela pengaturan proses. Pada jendela pengaturan proses terdapat beberapa menu yang harus diatur, yaitu :

<i>Cutting Tool</i>	: Material, Geometri, dan <i>Holder</i> .
<i>Cutting Condition</i>	: Pemilihan putaran mesin, kecepatan makan (<i>federate</i>), <i>coolant mode</i> dan <i>coolant pressure</i> (bila diperlukan dan mesin dapat mendukung fitur tersebut).
<i>Setting</i>	: Kedalaman pemotongan dan tebal material yang disisakan.
<i>Geometry</i>	: Permukaan atau bagian yang akan diproses.

5) Membuat *Toolpath* dan Simulasi

Setelah pengaturan proses divalidasi, *software* Topsolid7 akan membuat *toolpath* untuk proses tersebut. Data *toolpath* disimpan dalam bentuk *CL file* pada *entities tree*. Data pengaturan proses disimpan pada *NC operation tree*. Kemudian simulasi dilakukan dengan menggunakan menu *simulate*. Gambar 3.5 mengilustrasikan proses

simulasi pada *software* Topsolid7 dimana pahat potong bergerak memotong *raw material* pada proses bubut.

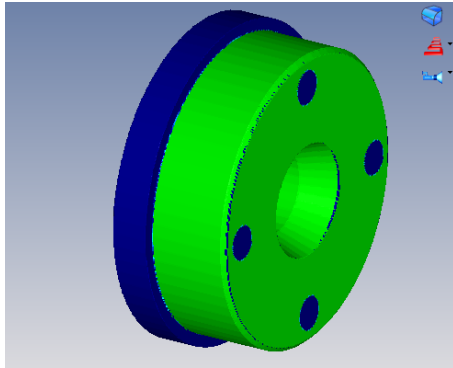


Gambar 3. 5 Ilustrasi Simulasi

6) Verifikasi Proses Pemesinan

Verifikasi proses pemesinan dilakukan untuk memastikan benda kerja mencapai ukuran toleransinya. Verifikasi dapat memeriksa apakah pergerakan pahat potong melewati bagian yang semestinya tidak terpotong. Verifikasi proses pemesinan dilakukan dengan menggunakan menu *verify*.

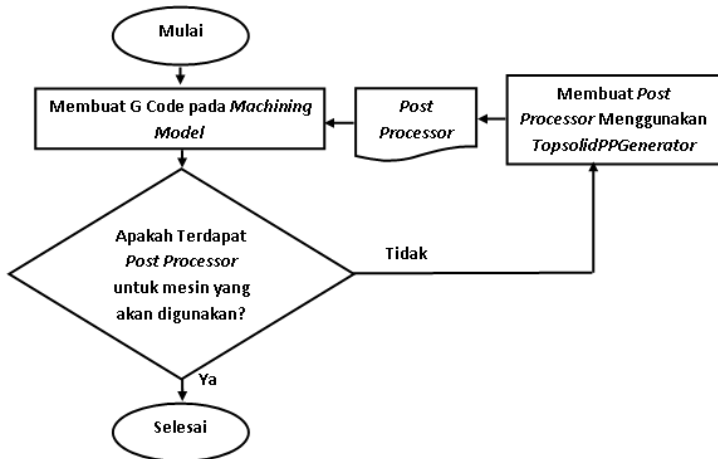
Hasil verifikasi ditunjukkan dengan berbagai warna. Bagian yang sudah sesuai dengan spesifikasi akan berwarna hijau. Bagian yang belum terpotong berwarna biru. Bagian yang terpotong lebih dalam dari ukurannya berwarna kuning, coklat, dan merah. Gambar 3.6 merupakan ilustrasi hasil verifikasi proses bubut.



Gambar 3. 6 Ilustrasi Hasil Verifikasi Proses Bubut

Jika hasil verifikasi menunjukkan bahwa spesifikasi produk sudah tercapai, maka tahap pembuatan *toolpath* selesai. Jika hasil verifikasi menunjukkan bahwa spesifikasi produk belum tercapai, maka tahap pembuatan *toolpath* diulangi kembali mulai dari penentuan proses pemesinan.

3.2.4. Pembuatan G Code menggunakan Topsolid7 CAM



Gambar 3. 7 Diagram Alir Pembuatan G Code menggunakan Topsolid7 CAM

Gambar 3.7 adalah gambar diagram alir pembuatan G Code pada Topsolid7 CAM. Pada tahap ini G Code dibuat sesuai dengan *control* pada mesin yang akan digunakan. Informasi *toolpath* yang sebelumnya telah dibuat disimpan dalam bentuk *CL file*. *CL file* tidak dapat dibaca oleh mesin, karena, perintah siklus, kepala program dan penutup program belum disesuaikan dengan *control* pada mesin.

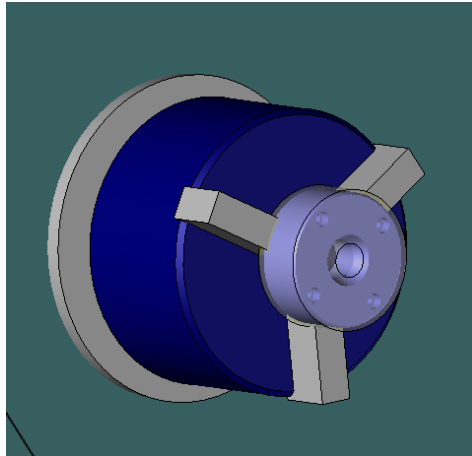
G Code dibuat dengan menggunakan menu *generate ISO*. Setelah itu jendela *generate ISO* akan terbuka. Pada jendela *generate ISO* terdapat pilihan *post processor* yang dapat digunakan. *Post processor* merupakan bahasa yang mengkonversi *CL file* menjadi G Code yang sesuai dengan *control* pada mesin. Jika *post processor* yang sesuai tidak tersedia, maka *post processor* dibuat menggunakan *software* Topsolid.PpGenerator.

3.2.5. Persiapan Program, Persiapan Benda Kerja dan Pahat Potong

Setelah program NC dibuat, program NC dipindahkan ke dalam MCU pada mesin CNC. Sebelum program digunakan/dieksekusi, ada beberapa hal yang harus dilakukan, yaitu :

- 1) Memasang Benda Kerja pada Pemegangnya.

Pada tahap ini benda kerja dipasang pada alat pemegangnya sesuai dengan mesin yang akan digunakan. Pemegang benda kerja tidak boleh menghalangi pergerakan pahat potong. Untuk setiap mesin terdapat berbagai jenis pemegang benda kerja seperti *chuck*, *collet*, ragam dan sebagainya. Gambar 3.8 merupakan ilustrasi pemasangan benda kerja pada *chuck* mesin bubut.



Gambar 3. 8 Ilustrasi Pemasangan Benda Kerja pada *Chuck*

2) Menentukan *Tool Offset* dari Pahat Potong.

Tool offset berisi tentang data-data dimensi tiap pahat potong, seperti, panjang pahat, radius mata potong pahat, ataupun diameter pahat potong. Gambar 3.9 merupakan tampilan *tool offset* pada mesin fanuc robodrill *tapping centre*. Pada gambar tersebut terdapat kolom untuk data panjang pahat potong (*length*) dan radius pahat potong (*radius*).

NO.	(LENGTH)		(RADIUS)	
	GEOM	WEAR	GEOM	WEAR
001	220.622	0.000	0.000	0.000
002	177.566	-2.200	0.000	0.000
003	117.616	0.550	11.000	2.590
004	197.355	0.000	0.000	0.000

Gambar 3. 9 *Tool Offset* pada Mesin Fanuc Robodrill *Tapping Center*

3) Menentukan Titik Referensi atau Disebut juga dengan *Work Offset*.

Work offset merupakan jarak dari koordinat $X=0$, $Y=0$, dan $Z=0$ pada benda kerja terhadap $X=0$, $Y=0$, dan $Z=0$ pada mesin. Gambar 3.10 merupakan tampilan *work offset* pada mesin bubut mori seiki. Pada gambar tersebut terdapat empat nilai *work offset*.

	G54		G55
X	0.000	X	0.000
Z	-153.770	Z	-150.560

	G57		G58
X	0.000	X	0.000
Z	-170.467	Z	-126.630

Gambar 3. 10 Contoh *Work Offset* pada Mesin Bubut CNC Mori Seiki

3.2.6. *Running Test* G Code Pada Mesin CNC

Running test G Code pada mesin CNC dilakukan dengan melakukan simulasi program pada mesin seperti pada gambar 3.11. *Running test* dapat pula dilakukan dengan mengeksekusi program tanpa memotong benda kerja dengan menambah *offset* pada *Z axis*. Pada saat *running test*, mesin memeriksa G Code tiap barisnya, dan akan memberi peringatan jika terdapat baris yang tidak dikenali oleh mesin.



Gambar 3. 11 Simulasi pada Mesin CNC Bubut Mori Seiki

Jika terdapat kesalahan pada G Code, maka G Code dibuat kembali dengan memperbaiki format G Code yang salah pada

konfigurasi *post processor*. Jika *post processor* tidak dapat mengakomodasi perintah atau baris G Code yang salah, maka G Code disesuaikan secara manual mengikuti *control* pada mesin.

3.2.7. Pembuatan Komponen Pada mesin CNC

Setelah dilakukan *running test* G Code dapat digunakan untuk proses pemesinan CNC. Pembuatan komponen dilakukan dengan mengeksekusi program pada mesin CNC. Mesin CNC yang digunakan adalah mesin CNC *turning* dengan *control* Siemens, dan mesin CNC *milling* dengan *control* Fanuc.

3.2.8. Verifikasi Dimensi Benda Kerja Hasil Pemesinan

Verifikasi dilakukan dengan mengukur dimensi benda kerja untuk memastikan ukuran benda kerja telah memenuhi spesifikasi. Jika terdapat ukuran yang belum tercapai dan program menggunakan kompensasi pahat potong, maka *tool offset* diatur kembali. Jika terdapat ukuran yang belum tercapai dan program tidak menggunakan kompensasi pahat potong, maka program dieksekusi kembali. Dimensi yang diukur hanya yang tertera pada gambar kerja. Bagian-bagian yang diukur adalah diameter, lebar, panjang dan kedalaman.

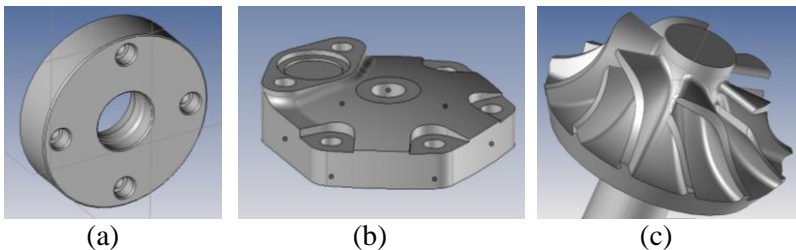
3.2.9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran dibuat setelah setiap langkah dilakukan. Kesimpulan dan saran diharapkan mampu membantu Departemen Teknik Mesin dalam pengembangan mahasiswa di bidang CAD/CAM, pengembangan materi ajar, dan pengembangan sarana dan prasarana mata kuliah CAD/CAM.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan mesin yang akan digunakan

Sebelum benda dibuat, mesin yang akan digunakan harus ditentukan terlebih dahulu. Mesin dipilih berdasarkan bentuk benda kerja dan ketersediaan mesin. Mesin yang tersedia adalah mesin CNC *milling* dengan *control* Fanuc dan mesin CNC *turning* dengan *control* Siemens. Benda kerja yang akan dibuat adalah *dies ironing* dan model *head cylinder*. *Dies ironing* dibuat untuk keperluan penelitian pembuatan peluru kaliber 20 mm. Sedangkan model *head cylinder* dibuat untuk keperluan perkuliahan gambar teknik dan praktikum pengukuran teknik. Sebagai tambahan, program untuk pemesinan *impeller* disertakan pada penelitian ini. Gambar kerja tiap komponen terlampir pada lampiran A.



Gambar 4. 1 Gambar 3D (a) *Ironing Dies* (b) *Head Cylinder*
Model (c) *Impeller* Model

Dies akan dibuat menggunakan mesin CNC bubut (2 *axis*) karena memiliki bentuk yang silindris seperti terlihat pada gambar 4.1 (a). Model *head cylinder* akan dibuat menggunakan mesin CNC freis (3 *Axis*) karena berbentuk kubistis/prismatik dengan profil 3D dan beberapa fitur di dalamnya seperti terlihat pada gambar 4.1 (b). Pada gambar 4.1 (c) terlihat *impeller* memiliki bentuk yang kompleks dengan baling-baling, oleh

karena itu *impeller* diproses pada mesin CNC 5 *axis*. Pemilihan mesin 5 *axis* ditentukan oleh jumlah *axis* tambahan yang diperlukan agar proses pemesinan dapat dilakukan secara simultan. Untuk itu pada menu *option* ditentukan konfigurasi mesin sesuai dengan benda yang akan dikerjakan. Tabel 4.1 berisi daftar konfigurasi mesin yang dipilih pada *software* Topsolid7 berdasarkan benda kerjanya.

Tabel 4. 1 Konfigurasi Mesin yang akan digunakan

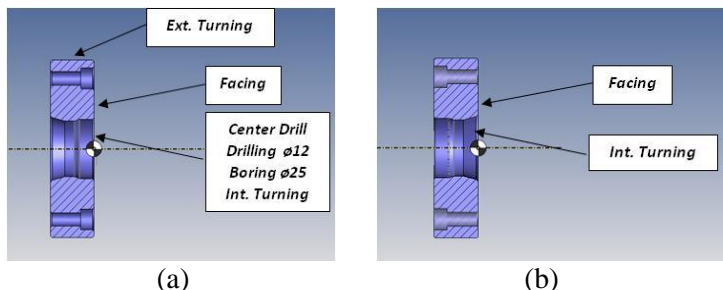
No.	Benda Kerja	Konfigurasi Mesin
1	<i>Dies</i>	NC Machine Turning (XZ/C)
2	<i>Head Cylinder</i>	NC Machine Milling (Head XYZ)
3	<i>Impeller</i>	NC Machine Milling (Head XYZ BC)

4.2 Rencana Proses Pemesinan

4.2.1 Rencana Proses Pemesinan pada Mesin CNC 2 Axis (Turning)

a) Rencana Proses

Proses yang akan dilakukan untuk membuat *dies* terbagi menjadi dua rencana operasi. Tiap operasi disesuaikan dengan pahat potong yang tersedia. Pada operasi pertama, proses-proses yang dilakukan adalah *facing*, *external turning*, *center drilling*, *drilling*, *boring* dan *internal turning*. Bagian-bagian yang diproses pada operasi pertama dapat dilihat pada gambar 4.2 (a). Pada Operasi kedua, proses-proses yang dilakukan adalah *facing* dan *internal turning*. Bagian-bagian yang diproses pada operasi kedua dapat dilihat pada gambar 4.2 (b). Daftar proses yang akan dilakukan dan pahat potong yang digunakan pada pembuatan *dies* dapat dilihat pada tabel 4.2.



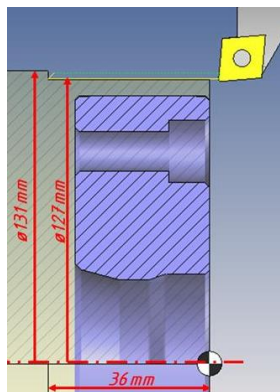
Gambar 4. 2 Rencana Proses 2 axis (a) Operasi Pertama (b) Operasi Kedua

Tabel 4. 2 Daftar Proses dan Pahat Potong pada Mesin CNC
Turning

No	Operasi	Proses	Pahat Potong	Material
1	Ke-1	<i>Facing</i>	Pahat Potong Eksternal	Carbide
2		<i>Ext. Turing</i>	Pahat Potong Eksternal	Carbide
3		<i>Centre Drill</i>	<i>Centre Drill</i>	HSS
4		<i>Drilling $\phi 12$</i>	<i>Twist Drill $\phi 12$</i>	HSS
5		<i>Boring $\phi 25$</i>	<i>Twist Drill $\phi 25$</i>	HSS
6		<i>Int. Turing</i>	Pahat Potong Internal	Carbide
7	Ke-2	<i>Facing</i>	Pahat Potong Eksternal	Carbide
8		<i>Int. Turing</i>	Pahat Potong Internal	Carbide

b) Parameter Pemotongan

Parameter pemotongan dipilih berdasarkan material benda kerja dan pahat potong. Parameter pemotongan dapat dicari melalui perhitungan atau diambil dari tabel rekomendasi pada lampiran B. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mencari parameter potong pada proses *rough turning* diameter 131 mm menjadi diameter 127 mm sepanjang 36 mm seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Sketsa Contoh Perhitungan Proses *Roughing*

Material benda kerja adalah baja OCR12VM dengan kekerasan 225 HB (keras) yang memiliki *tensile strength* sebesar 860 Mpa. Material pahat potong yang digunakan adalah *carbide*.

Untuk material tersebut didapatkan nilai V_s sebesar 1.7 m/s dan F_s sebesar 0.5 mm berdasarkan gambar 2.7, dan didapatkan nilai n sebesar 0.25 dan C sebesar 500 m/min berdasarkan gambar 2.8. Untuk proses *roughing*, berdasarkan tabel 2.3 didapatkan nilai Z_v sebesar 1 dan Z_f sebesar 1. Nilai-nilai parameter potong dasar dan beberapa parameter lainnya dapat dicari dengan perhitungan di bawah ini :

Kecepatan Potong :

$$\begin{aligned} v &= V_s \times Z_v \\ &= 1.7 \times 1 \text{ m/s} \\ &= 1.7 \times 60 \frac{\text{m}}{\text{min}} \\ &= 102 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Gerak Makan :

$$\begin{aligned} f &= f_s \times Z_f \\ &= 0.5 \times 1 \text{ mm} \\ &= 0.5 \text{ mm/rev} \end{aligned}$$

Umur pahat :

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{C}{v} \right)^{\frac{1}{n}} \\ &= \left(\frac{500}{102} \right)^{\frac{1}{0.25}} = (5)^4 \\ &= 625 \text{ min} \end{aligned}$$

Diameter rata-rata :

$$\begin{aligned} d &= \frac{d_o + d_m}{2} \\ &= \frac{131 + 127}{2} \\ &= 129 \text{ mm} \end{aligned}$$

Putaran *Spindle* :

$$\begin{aligned} n &= \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} \\ &= \frac{102 \times 1000}{\pi \times 129} \\ &= 252 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Waktu potong :

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{l}{n \times f} \\ &= \frac{36}{252 \times 0.5} \\ &= 0.29 \text{ min} \end{aligned}$$

Total Proses

$$N = \frac{T}{t} = \frac{625}{0.29} = 2155$$

Dari perhitungan diatas, diketahui bahwa untuk proses tersebut dapat dilakukan sebanyak 2155 kali untuk satu pahat. Selanjutnya, jumlah produk yang dapat dihasilkan dan biaya produksinya dapat dicari dari hasil perhitungan tersebut.

Material Pahat Potong

Standard values for turning using coated carbide tools²⁾

Workpiece material		Cutting speed v_c in m/min	Feed f in mm	Cutting ϵ in m	
Material group	Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB				
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	200–350	Kecepatan Potong Finishing	0.3	
Steels, high strength	$R_m > 800$	100–200			
Stainless steels	$R_m \geq 800$	80–200	Gerak Makan Roughing		
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	100–300			
Material Benda Kerja	Kecepatan Potong Roughing	400–800	0.1–0.5		
		Gerak Makan Finishing			

keadaan normal dan gerak makan dikurangi 10 % dari keadaan normal, karena proses yang dilakukan memiliki kedalaman empat kali diameter. Material benda kerja sama dengan proses di atas, dan material pahat potong adalah HSS (*High Speed Steel*). Untuk material tersebut didapatkan nilai V_s sebesar 0.5 m/s berdasarkan gambar 2.7, dan didapatkan nilai n sebesar 0.125 dan C sebesar 70 m/min berdasarkan gambar 2.8. Nilai-nilai parameter potong dasar dan beberapa parameter lainnya dapat dicari dengan perhitungan berikut :

Kecepatan potong untuk material baja :

$$\begin{aligned} v &= (0.7 \times V_s)(1 - 0.2) \\ &= 0.7 \times 0.5 \frac{m}{min} \\ &= 0.35 \times 60 \frac{m}{min} = 21 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Kecepatan potong setelah di reduksi :

$$\begin{aligned} v &= (1 - 0.2)21 \text{ m/min} \\ &= 16.8 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Gerak Makan untuk material yang keras:

$$\begin{aligned} f &= 0.01 \times D/\text{rev} \\ &= 0.01 \times 12 \text{ mm/rev} \\ &= 0.12 \text{ mm/rev} \end{aligned}$$

Gerak makan setelah di reduksi :

$$\begin{aligned} f &= (1 - 0.1)0.12 \frac{mm}{rev} \\ &= 0.108 \frac{mm}{rev} \end{aligned}$$

Umur pahat :

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{C}{v}\right)^{\frac{1}{n}} \\ &= \left(\frac{70}{16.8}\right)^{\frac{1}{0.125}} \\ &= 15241 \text{ min} \end{aligned}$$

Putaran *Spindle* :

$$\begin{aligned} n &= \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} \\ &= \frac{16.8 \times 1000}{\pi \times 12} \\ &= 446 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Waktu potong :

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{l}{n \times f} \\ &= \frac{48}{446 \times 0.108} \\ &= 1 \text{ min} \end{aligned}$$

Total Proses :

$$N = \frac{T}{t} = \frac{15241}{1} = 15241$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa untuk proses tersebut dapat dilakukan sebanyak 15241 kali untuk satu pahat. Selanjutnya, jumlah produk yang dapat dihasilkan dan biaya produksinya dapat dicari dari hasil perhitungan tersebut.

Material Pahat Potong			Diameter Pahat Potong			
Standard values for drilling with HSS twist drills ¹⁾						
Workpiece material		Cutting speed ²⁾ v_c m/min	Drill diameter d in mm			
Material group	Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB		2-3	>3-6	>6-12	>12-
			Feed f in mm/revolution			
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	40	0.05	0.10	0.15	0.2
Steels, high strength	$R_m > 800$	20	0.04	0.08	0.10	0.1
Stainless steels	$R_m \leq 800$	12	0.03	0.06	0.08	0.1
Material Benda Kerja		Kecepatan Potong				Gerak Makan

Gambar 4. 6 Potongan Tabel Rekomendasi untuk Proses Gurdi

Untuk proses tersebut kecepatan potong hasil perhitungan adalah 21 m/min dengan gerak makan 0.12 mm/rev pada kondisi normal, sedangkan kecepatan potong pada tabel rekomendasi adalah 20 m/min dengan gerak makan 0.1 mm/rev seperti pada gambar 4.6. Dapat dikatakan parameter potong hasil perhitungan hampir sama dengan yang tertera pada tabel rekomendasi. Untuk proses dengan kedalaman diatas tiga kali diameter, kecepatan potong dan gerak makan dikurangi sehingga hasilnya berbeda.

Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah parameter yang direkomendasikan dari tabel pada lampiran B dengan kedalaman potong 5 mm. Material *dies* yang akan dibuat adalah OCR12VM setara dengan SKD 11 pada standar JIS yang memiliki *tensile strength* sebesar 860 Mpa. Mesin CNC *turning* yang digunakan memiliki putaran *spindle* maksimum sebesar 1000 rpm, gerak makan maksimum sebesar 0.3 mm/rev, dan kedalaman potong maksimum sebesar 0.5 mm. Tabel 4.3 berisi nilai parameter yang digunakan pada proses pembuatan *dies*.

Tabel 4. 3 Parameter Proses Pembuatan *Dies*

No.	Proses Bubut	Work Piece Material	Cutting Tool Material	Vc (m/min)	n	f	Depth of cut	z	Tool Number
1	Facing	SKD11	Carbide	100	.	0.3	0.5	1	3
2	Facing Finish	SKD11	Carbide	200	.	0.1	0.3	1	3
3	External Roughing	SKD11	Carbide	100	.	0.3	0.5	1	3
4	External Finishing	SKD11	Carbide	200	.	0.1	0.3	1	3
5	Centre Drilling	SKD11	HSS	20	1592	0.08	1.5	2	6
6	Drilling dia 12.	SKD11	HSS	20	531	0.1	5	2	8
7	Boring dia. 25	SKD11	HSS	20	255	0.15	5	2	6
8	Internal Roughing	SKD11	Carbide	100	.	0.3	0.5	1	2
9	Internal Finishing	SKD11	Carbide	200	.	0.1	0.3	1	2

Pada proses bubut pada mesin CNC putaran *spindle* akan berubah sesuai perubahan diameter. Parameter yang dimasukkan ke dalam program NC adalah kecepatan potong (m/min) karena nilai putaran *spindle* yang berubah-ubah. Sedangkan untuk proses *drilling* parameter yang dimasukkan ke dalam program NC adalah putaran *spindle* (rpm) karena memiliki diameter tertentu. Pada tabel 4.3 nilai parameter tersebut didapatkan dari perhitungan di bawah. Berikut perhitungan parameter tersebut :

- Diameter 12

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} = \frac{20 \times 1000}{\pi \times 12} = 531 \text{ rpm}$$

- Diameter 25

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} = \frac{20 \times 1000}{\pi \times 25} = 255 \text{ rpm}$$

4.2.2 Rencana Proses Pemesinan pada Mesin CNC 3 Axis (Milling)

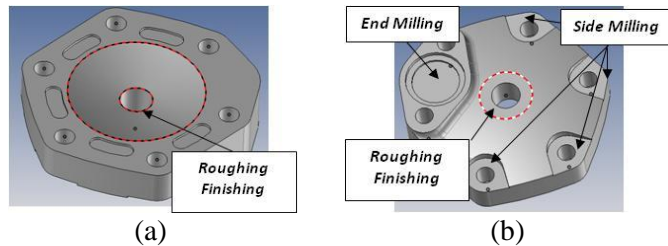
a) Rencana Proses

Raw material untuk *head cylinder* telah diproses sebelumnya seperti terlihat pada gambar 4.7. Proses-proses yang sudah dilakukan pada *raw material* adalah *drilling*, dan *slot milling*. Oleh karena itu proses-proses tersebut tidak dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 4. 7 Raw Material Model Head Cylinder

Proses yang akan dilakukan untuk membuat model *head cylinder* terbagi menjadi dua rencana operasi. Tiap operasi yang dilakukan disesuaikan dengan pahat potong yang tersedia. Pada operasi pertama dilakukan proses *roughing* dan *finishing* pada permukaan *dome* dari ruang bakar pada model *head cylinder* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8 (a). Pada operasi kedua dilakukan proses *roughing*, *side milling*, *pocketing* dan *finishing* pada permukaan sebaliknya. Bagian-bagian yang diproses pada operasi kedua dapat dilihat pada gambar 4.8 (b). Daftar proses yang akan dilakukan, dan pahat potong yang digunakan pada pembuatan model *head cylinder* dapat dilihat pada tabel 4.4.



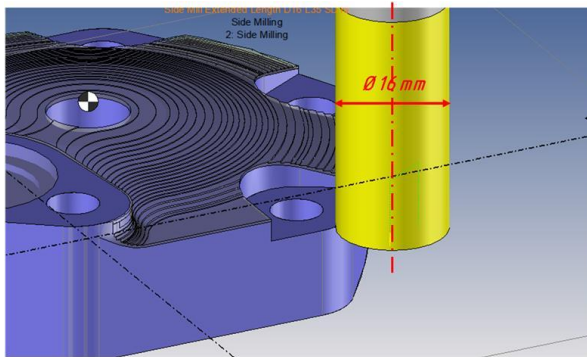
Gambar 4. 8 Rencana Proses 3 Axis (a) Operasi Pertama (b) Operasi Kedua

Tabel 4. 4 Daftar Proses *Milling* dan Pahat Potong yang digunakan

No	Operasi	Proses	Pahat Potong
1	Ke-1	<i>Roughing</i>	Carbide dia. 16
2		<i>Finishing</i>	Carbide dia. 6
3	Ke-2	<i>Roughing</i>	Carbide dia. 16
4		<i>Side Milling</i>	
5		<i>End Milling</i>	
6		<i>Finishing</i>	Carbide dia. 6

b) Parameter Pemotongan

Parameter pemotongan dipilih berdasarkan material benda kerja dan pahat potong. Parameter pemotongan dapat dicari melalui perhitungan atau diambil dari tabel rekomendasi pada lampiran B. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mencari parameter potong pada proses *end milling* dengan pahat potong diameter 16 mm seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Sketsa Contoh Perhitungan Proses *Milling*

Material benda kerja adalah baja OCR12VM dengan kekerasan 225 HB (keras) yang memiliki *tensile strength* sebesar 860 Mpa. Material pahat potong yang digunakan adalah *carbide*. Untuk material tersebut didapatkan nilai V_s sebesar 1.7 m/s dan F_s sebesar 0.5 mm berdasarkan gambar 2.7, dan didapatkan nilai n sebesar 0.25 dan C sebesar 500 m/min berdasarkan gambar 2.8. Untuk proses *end milling*, berdasarkan tabel 2.3 didapatkan nilai Z_v sebesar 1 dan Z_f sebesar 0.2. Nilai-nilai parameter potong dasar dan beberapa parameter lainnya dapat dicari dengan perhitungan di bawah ini :

Kecepatan Potong :

$$\begin{aligned} v &= V_s \times Z_v \\ &= 1.7 \times 1 \text{ m/s} \\ &= 1.7 \times 60 \frac{\text{m}}{\text{min}} \\ &= 102 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Gerak Makan :

$$\begin{aligned} f &= f_s \times Z_f \\ &= 0.5 \times 0.2 \text{ mm} \\ &= 0.1 \text{ mm/rev} \end{aligned}$$

Umur pahat :

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{C}{v} \right)^{\frac{1}{n}} \\ &= \left(\frac{500}{102} \right)^{\frac{1}{0.25}} = (5)^4 \\ &= 625 \text{ min} \end{aligned}$$

Putaran *Spindle* :

$$\begin{aligned} n &= \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} \\ &= \frac{102 \times 1000}{\pi \times 16} \\ &= 2029 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Material model *head cylinder* yang akan dibuat adalah aluminum. Oleh karena itu pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah parameter yang direkomendasikan dari tabel pada lampiran B karena terdapat rekomendasi untuk material aluminum pada lampiran B. Mesin CNC *milling* yang digunakan memiliki kecepatan putaran *spindle* maksimum sebesar 8000 rpm dan kedalaman potong maksimum sebesar 0.5 mm. Tabel 4.5 berisi nilai parameter yang digunakan pada proses pembuatan model *head cylinder*. Nilai tersebut didapatkan dari tabel rekomendasi pada lampiran B.

Tabel 4. 5 Parameter Proses Pembuatan *Head Cylinder* Model

No	Proses	Work Piece	Cutting Tool	Diameter	Vc	n	n actual	fz	Step over	Depth of cut	z	Vf	Tool
1	Roughing	Aluminium	Carbide Endmill	16	600	11943	8000	0.09	5	0.5	2	1440	1
2	Side Mill												
3	Pocketing												
4	Pocketing												
5	Finish	Aluminium	Carbide Endmill	6	600	31847	8000	0.05	0.3	0.3	2	800	2

Pada proses *milling* pada mesin CNC parameter yang dimasukkan berupa kecepatan putaran *spindle* (rpm) dan kecepatan pemakanan (mm/min). Pada tabel 4.5 nilai parameter tersebut didapatkan dari perhitungan di bawah. Berikut perhitungan parameter tersebut :

- Diameter 16

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} = \frac{600 \times 1000}{\pi \times 16} = 11942.68 \text{ rpm (maksimum 8000 rpm)}$$

$$v_f = f_z \times n \times z = 0.09 \times 8000 \times 2 = 1440 \text{ mm/min}$$

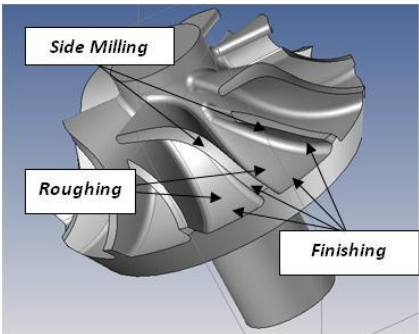
- Diameter 6

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} = \frac{600 \times 1000}{\pi \times 6} = 31847.13 \text{ rpm (maksimum 8000 rpm)}$$

$$v_f = f_z \times n \times z = 0.05 \times 8000 \times 2 = 800 \text{ mm/min}$$

4.2.3 Rencana Proses Pemessinan pada Mesin CNC 5 Axis (Milling)

Proses yang dilakukan untuk pemesinan *impeller* adalah *roughing* (3 axis), *finishing* pada badan *impeller*, *side milling* pada sudu *impeller* (*semifinish*), dan *finishing* pada sudu *impeller*. Bagian-bagian yang akan diproses ditunjukkan pada gambar 4.10. Sedangkan daftar pahat potong yang digunakan pada tiap prosesnya dapat dilihat pada tabel 4.6.



Gambar 4. 10 Rencana Proses 5 Axis

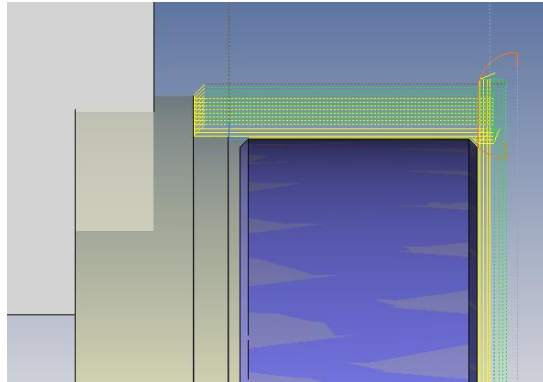
Tabel 4. 6 Daftar Proses 5 Axis

No	Proses	Pahat Potong
1	<i>Roughing</i>	Endmill Diameter 6 R1
2	<i>Finishing</i>	Ballnose Endmill Diameter 4
3	<i>Side Milling</i>	Ballnose Endmill Diameter 4

4.3 Pembuatan *Toolpath*

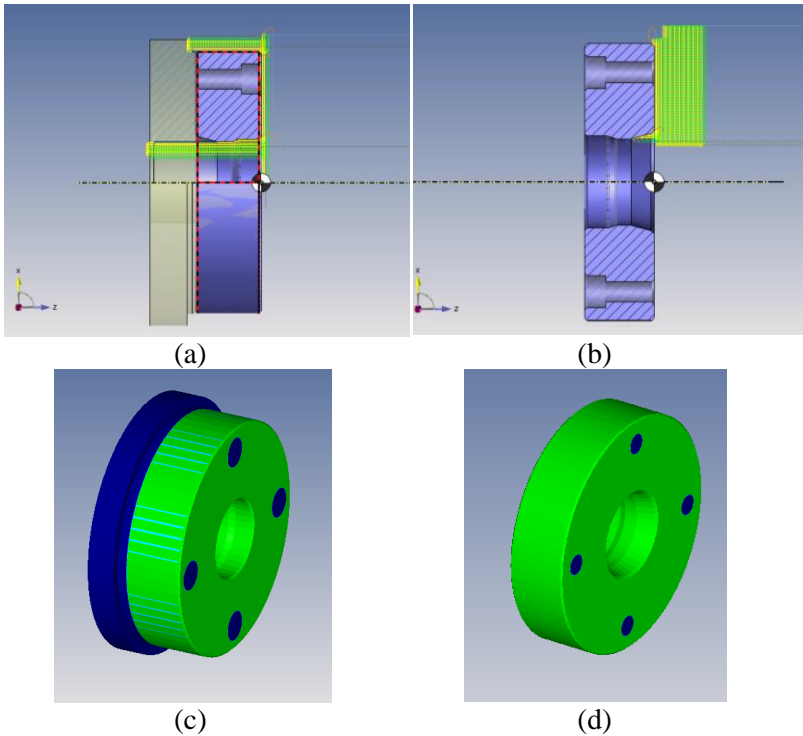
4.3.1 Pembuatan *Toolpath* pada mesin CNC 2 Axis (*Turning*)

Pada *software* Topsolid7 pilihan proses bubut terdapat pada menu tab *turning*. Pada menu tab *turning* terdapat beberapa pilihan proses diantaranya adalah *roughing*, *finishing*, *grooving* untuk alur, dan *threading* untuk ulir. Selain itu proses *hole machining* dapat dipilih pada tab 2D untuk proses gurdi. Pada *software* Topsolid7 *toolpath* dapat menghindari objek tertentu seperti ragum, *chuck*, dan sebagainya. Fitur tersebut adalah fitur *part environment* yang terdapat pada menu tab *equipment*. Selain itu terdapat pula fitur *chuck limit* pada *setting* tab proses bubut yang memiliki fungsi yang sama seperti di atas. Gambar 4.11 menunjukkan hasil simulasi dari penggunaan fitur *chuck limit*. Pada gambar 4.11 *toolpath* tidak memotong *chuck* yang sudah didefinisikan pada program itu.



Gambar 4. 11 Ilustrasi *Toolpath* menggunakan Fitur *Chuck Limit*

Pada proses pembuatan *dies*, *toolpath* dibuat berdasarkan perhitungan dan pilihan proses pada sub bab rencana proses pemesinan sebelumnya. Untuk pilihan proses tersebut pilihan proses yang digunakan pada *software* Topsolid7 adalah *roughing*, *finishing*, dan *hole machining*. Gambar 4.12 (a) dan (b) adalah *toolpath* yang dihasilkan untuk operasi 1 dan 2. Gambar 4.12 (c) dan (d) adalah hasil verifikasi dari *toolpath* pada operasi 1 dan 2.

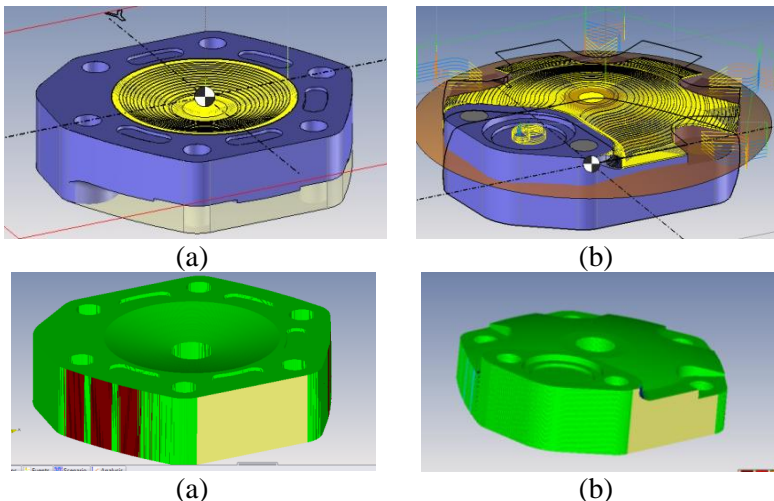


Gambar 4. 12 CAM 2 Axis (a) *Toolpath* Operasi 1 (b) *Toolpath* Operasi 2 (c) Hasil Verifikasi Operasi 1 (c) Hasil Verifikasi Operasi 2

4.3.2 Pembuatan *Toolpath* pada mesin CNC 3 Axis (*Milling*)

Pada *software* Topsolid7 pilihan proses freis terdapat pada menu tab 2D/3D. Pada menu tab 2D/3D terdapat beberapa pilihan proses diantaranya adalah *roughing*, *finishing*, dan *sweeping* untuk 3D *milling*, dan *slot milling*, *end milling*, dan *side milling* untuk 2D *milling*. Selain itu proses *hole machining* dapat dipilih pada tab 2D untuk proses gurdi.

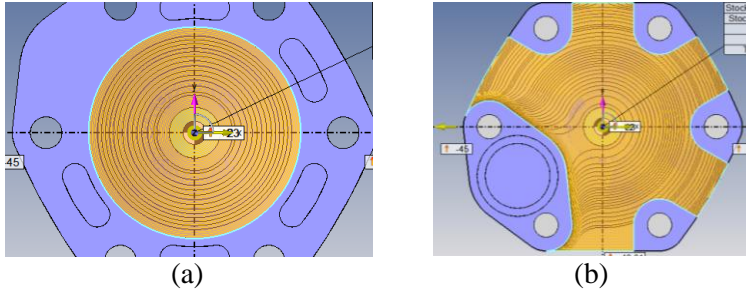
Pada proses pembuatan model *head cylinder*, *toolpath* dibuat berdasarkan perhitungan dan pilihan proses pada sub bab rencana proses pemesinan sebelumnya. Untuk pilihan proses tersebut, pilihan proses yang digunakan pada *software* Topsolid7 adalah *roughing*, *finishing*, *side milling*, dan *end milling*. Gambar 4.13 (a) dan (b) adalah *toolpath* yang dihasilkan untuk operasi 1 dan 2. Gambar 4.13 (c) dan (d) adalah hasil verifikasi dari *toolpath* pada operasi 1 dan 2.



Gambar 4. 13 CAM 3 Axis (a) *Toolpath* Operasi 1(b) *Toolpath* Operasi 2 (c) Hasil Verifikasi Operasi 1(c) Hasil Verifikasi Operasi 2

Untuk proses *finishing*, pada *software* Topsolid7 terdapat beberapa strategi pemotongan (*cutting strategy*), yaitu *raster passes*, *constant Z*, dan *constant step over*. *Raster passes* digunakan untuk permukaan yang hampir horizontal dengan kemiringan 0° sampai 45° . *Constant Z* digunakan untuk permukaan yang hampir vertikal dengan kemiringan 45° sampai 90° . *Constant step over* digunakan untuk permukaan yang memiliki profil/kontur tertentu.

Pada penelitian ini strategi pemotongan yang dipilih adalah *constant step over*. *Constant step over* dipilih karena proses *finishing* hanya dilakukan pada bagian *dome* yang memiliki kontur tertentu. Pada operasi pertama bagian *dome* memiliki profil lingkaran seperti pada gambar 4.14 (a) dengan permukaan yang cekung. Pada operasi kedua bagian *dome* memiliki profil tertentu seperti pada gambar 4.14 (b) dengan permukaan yang cembung.

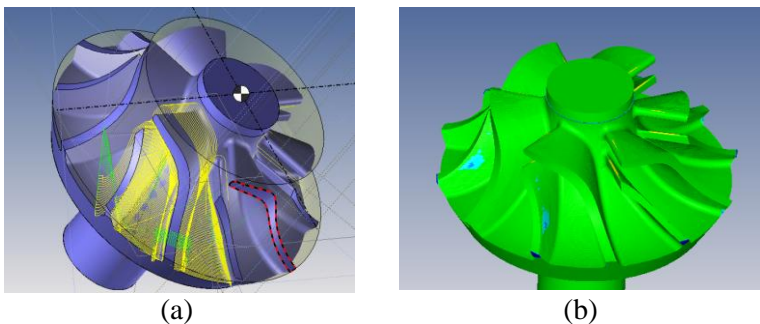


Gambar 4. 14 Profil Permukaan pada Proses *Finishing* 3 Axis (a) Operasi 1 (b) Operasi 2

4.3.3 Pembuatan *Toolpath* pada mesin CNC 5 Axis (*Milling*)

Pada *software* Topsolid7 pilihan proses freis 5 axis terdapat pada menu tab 4D/5D. Untuk mesin 4 axis terdapat beberapa pilihan proses, diantaranya adalah 4 axis *radial roughing*, *automatic roughing*, dan *screw milling*. Untuk mesin 5 axis terdapat beberapa pilihan proses, diantaranya adalah *swarfing*, 5 axis *countouting*, dan 5 axis *constant Z*. Selain itu dapat dipilih proses lainnya pada konfigurasi 5 axis ini.

Pada pemrograman *impeller*, *toolpath* dibuat berdasarkan pilihan proses pada sub bab rencana proses pemesinan sebelumnya. Untuk pilihan proses tersebut, pilihan proses yang digunakan pada *software* Topsolid7 adalah 3D *roughing*, *swarfing*, dan *sweeping*. *Swarfing* adalah proses *end milling* pada mesin 5 axis. Gambar 4.15 (a) menunjukkan *toolpath* yang dihasilkan pada permorgaman *impeller*. Gambar 4.15 (b) adalah hasil verifikasi dari *toolpath* tersebut.



Gambar 4. 15 Hasil CAM 5 Axis (a) *Toolpath* (b) Verifikasi

4.4 Pembuatan G Code

Mesin CNC *turning* yang digunakan memiliki *control* Siemens *turn* dan mesin CNC *milling* memiliki *control* Fanuc 3 axis. *Software* Topsolid yang terdapat di Lab. CAE ITS memiliki

post processor untuk *control* Fanuc 3 axis. Paket *software* Topsolid7 di Lab. CAE ITS tidak dilengkapi dengan *software* TopsolidPpGenerator sehingga tidak dapat dibuat *post porocessor* untuk *control* Siemens. Maka untuk mesin CNC *turning* dengan *control* Siemens *turn* beberapa baris pada program harus disesuaikan secara manual. Program disesuaikan dengan cara mengeluarkan *file* G Code menggunakan *post processor* Fanuc 3 axis, kemudian *file* G Code dibuka menggunakan aplikasi pembuka teks. G Code disesuaikan di dalam aplikasi pembuka teks. Berikut perintah yang harus disesuaikan pada G Code :

a) Format Baris Penanda

Baris penanda proses berfungsi untuk menunjukkan proses yang akan dilakukan pada program. Format baris penanda proses harus diganti karena *control* Fanuc dan Siemens memiliki format yang berbeda. Pada *control* Fanuc baris penanda proses diawali dengan tanda “(“ dan diakhiri tanda “)”. Sedangkan baris penanda proses pada *control* Siemens diawali tanda “;” tanpa diakhiri tanda apapun. Contoh *editing* baris ini terdapat pada tabel 4.7.

b) Perintah *Home Position*

Home position berfungsi untuk menggerakkan pahat potong pada titik (0,0) mesin. Baris *home position* perlu ditambahkan sebelum baris perintah pergantian pahat potong (*tool change*) pada awal program untuk memastikan pergantian pahat potong berada pada posisi terjauh dari benda kerja, sehingga aman untuk melakukan pergantian pahat potong (*tool change*). Selain itu format perintah *home position* harus diganti karena *control* Fanuc dan Siemens memiliki format yang berbeda. Pada *control* Fanuc kode yang digunakan untuk perintah *home position* adalah “G28”. Sedangkan pada *control* Siemens kode yang digunakan untuk perintah *home position* adalah “G75”. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

c) *Perintah Tool Change*

Tool change adalah baris perintah untuk mengganti pahat potong. Kode perintah *tool change* harus diganti karena *control* Fanuc dan Siemens memiliki kode yang berbeda. Pada *control* Fanuc, kode yang digunakan untuk perintah *tool change* adalah “M6”. Sedangkan pada *control* Siemens, kode yang digunakan untuk perintah *tool change* adalah “D1”. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

d) *Absolute atau Increment Positioning*

Absolute dan *increment positioning* berfungsi untuk menentukan metode *positioning* pahat potong terhadap sumbu X, Y dan Z. Baris *absolute* dan *increment positioning* diletakan setelah baris pergantian pahat potong. Hal tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa pergerakan pahat potong kembali ke perintah *positioning* sebelumnya setelah pergerakan menuju *home position* dan *tool changing*. Kode perintah *absolute positioning* adalah G90. Sedangkan kode perintah *increment positioning* adalah G91. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

e) *Work Offset*

Work coordinate offset berfungsi untuk menentukan letak koordinat X0, Y0, dan Z0 pada program dan benda kerja berdasarkan *work offset* pada mesin. Baris *work coordinate system offset* diletakan setelah baris pergantian pahat potong. Hal tersebut bertujuan untuk memastikan koordinat yang digunakan pahat potong yang baru kembali ke koordinat sebelumnya pada program tersebut setelah pergerakan menuju *home position* dan *tool changing*. Kode perintah *work offset* adalah G54 hingga G58. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

f) Deaktivasi *Diameter Dimensioning*

Saat digunakan pada mesin CNC *turning, post processor* Fanuc 3 Axis menghasilkan sistem kordinat dimana nilai pada X *axis* menunjukkan radius dari benda kerja. Untuk itu harus dilakukan deaktivasi *diameter dimensioning* untuk memastikan nilai pada X *axis* tidak dibaca sebagai diameter tetapi dibaca sebagai radius. Pada *control* Siemens *turn* perintah deaktivasi *diameter dimensioning* adalah “DIAMOF”. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

g) Format Putaran *Spindle*

Untuk mendapatkan kecepatan potong yang konstan sesuai diameternya, pada proses bubut putaran *spindle* berubah-ubah mengikuti perubahan diameter pada saat proses pemotongan (tidak konstan). Sedangkan putaran *spindle* yang dihasilkan *post processor* Fanuc 3 axis (freis) konstan. Oleh Karena itu perintah putaran *spindle* untuk proses bubut harus diganti. Perintah yang digunakan pada *control* Fanuc 3 axis adalah adalah “G95”, pada perintah ini nilai “S” memiliki satuan rpm. Perintah yang digunakan pada *control* Siemens *turn* adalah “G96”, pada perintah ini nilai “S” memiliki satuan “m/min”. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

h) Perintah Limitasi Putaran *Spindle*

Pada perintah sebelumnya, putaran *spindle* berubah mengikuti diameter benda kerja. Semakin kecil diameter, maka putaran *spindle* akan semakin tinggi. Pada saat diameter mendekati 0 (nol) maka putaran *spindle* akan mendekati tak terhingga. Oleh karena itu nilai putaran *spindle* perlu dibatasi. Pada *control* Siemens *turn* perintah limitasi putaran *spindle* adalah “LIMS=(nilai putaran maksimum)”. Mesin yang digunakan memiliki nilai putaran *spindle* maksimum sebesar

1000 rpm. Maka baris perintah limitasi putaran spindle pada mesin yang akan digunakan adalah “LIMS=1000”. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

i) Mengganti Format Input Nilai Radius

Format penulisan nilai radius harus diganti karena *control* Fanuc dan Siemens memiliki format yang berbeda. Pada *control* Fanuc, kode yang digunakan untuk penulisan nilai radius adalah “R”. Sedangkan pada *control* Siemens, kode yang digunakan untuk penulisan nilai radius adalah “CR=”. Contoh *editing* perintah ini terdapat pada tabel 4.7.

j) Menghapus Pembacaan *Tool Height Compensation*

Tool height compensation adalah perintah aktivasi kompensasi panjang pahat potong. Pada *post processor* Fanuc 3 *axis* terdapat perintah pembacaan *tool height compensation*. Kode perintah tersebut adalah “G43”. Pembacaan *tool height compensation* tidak digunakan pada proses bubut sehingga perintah pembacaan *tool height compensation* dapat dihapus.

k) Mengganti Format Perintah Siklus (*Cycle*)

Perintah siklus (*cycle*) adalah perintah-perintah yang digunakan untuk melakukan proses-proses yang memiliki siklus tertentu seperti proses gurdi (*drilling*) dan ulir (*theadhing*). Setiap *control* memiliki format yang berbeda untuk setiap perintah siklus (*cycle*). Untuk menggunakannya blok perintah tersebut harus diganti ke dalam format *cycle* pada *control* siemens. Daftar dan format perintah siklus (*cycle*) untuk control Siemens terlampir.

Tabel 4. 7 Contoh *Editing G Code*

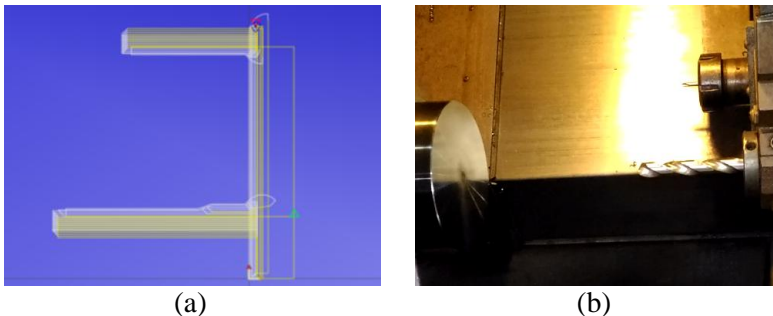
G Code hasil <i>post processor</i> Fanuc 3 Axis	G Code setelah disesuaikan (Siemens)	Keterangan
(IRONING DIES)	;IRONING DIES	Penanda Nama Program
G0 G40 G49	G0 G40	
G80 G90 G95 G98	G90	
G54	G54	
	G75 X0 Z0	Home Position
(C80-RHOMBIC R EXTERNAL TURN R0.1 IC 12.7)	;C80-RHOMBIC R EXTERNAL TURN R0.1 IC 12.7	Penanda Nama Pahat Potong
T1 M6	T1 D1	Tool Change
T3	G54 G90	WCS dan Absolute Positioning
	DIAMOF	Diameter Off
	G0 X59.606	
	LIMS=1000	Speed Limit
(CONTOURING)	;CONTOURING	Penanda Nama Proses
S3600 M3	G96 S200 M3	Constan Velocity of Cutting
X59.606	X59.606	
G1 G42 X57.536 Z3.536 F.1	G1 G42 X57.536 Z3.536 F.1	
G2 X59. Z0 R5.	G2 X59. Z0 CR=5.	Radius Command
G1 X60. Z-1.	G1 X60. Z-1.	
Z-29.	Z-29.	
Z-31.5	Z-31.5	
G40 X62.1	G40 X62.1	
G0 Z12. M9	G0 Z12. M9	
G91 G28 Z0	G75 X0 Z0	Home Position
G28 X0		
M5	M5	

*G Code hasil masing-masing proses terlampir

4.5 Contoh Pembuatan Komponen

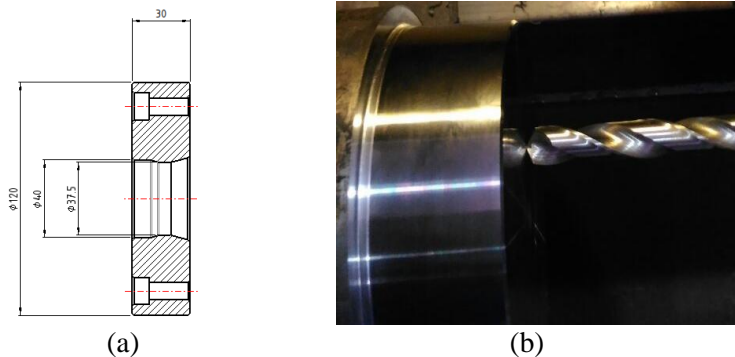
4.5.1 Dies Ironing

Setelah program disesuaikan, benda kerja dibuat dengan mengeksekusi program tersebut. Sebelum dieksekusi, G Code diperiksa dengan melakukan *running test*. Pada saat *running test*, G Code disimulasikan menggunakan *software* pemeriksa G Code seperti pada gambar 4.16 (a) dan dieksekusi pada mesin tanpa memotong benda kerja (*dry run*) seperti pada gambar 4.16 (b). Dari hasil simulasi dan *dry run*, G Code yang dibuat tidak memiliki kesalahan tiap barisnya. Setelah dipastikan tidak terdapat kesalahan pada G Code maka benda kerja dapat dibuat.



Gambar 4. 16 *Running Test* (a) Simulasi bubut operasi pertama pada *software* pemeriksa G Code (b) *Dry Run*

Setelah Komponen dibuat, komponen diukur untuk memastikan bahwa pergerakan pahat potong sudah sesuai dengan dimensi produk. *Dies* diukur menggunakan jangka sorong dengan kecermatan 0.05 mm. Bagian yang diukur dapat dilihat pada gambar 4.17 (a).



Gambar 4. 17 (a) Dimensi yang Diukur pada *Dies* (b) Proses *Setting* Pahat Potong

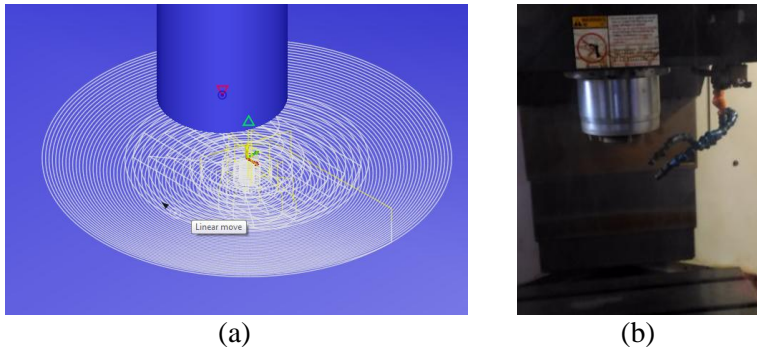
Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.8 dimana diketahui bahwa dimensi produk berada pada toleransinya. Dapat disimpulkan program yang dihasilkan oleh CAM Topsolid sudah sesuai dengan dimensi produk. Pada dimensi tebal 30 mm terjadi penyimpangan mencapai 0.15 mm sedangkan untuk dimensi yang lain penyimpangan tertinggi sebesar 0.05 mm. Hal ini disebabkan karena pada saat proses *setting*, alat *setting* pahat (*tool setter*) tidak dapat digunakan karena rusak. Sehingga proses *setting* pahat potong dilakukan dengan menyentuhkan ujung mata pahat ke benda kerja seperti pada gambar 4.17 (b).

Tabel 4. 8 Hasil Pengukuran *Dies Ironing*

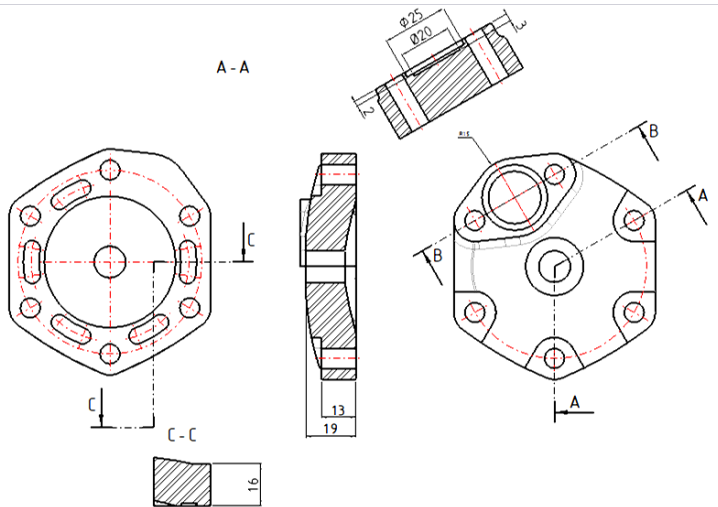
No	Dimensi	Pengukuran				
		I	II	III	IV	V
1	Dia. 120	119.95	120	119.95	119.95	120
2	Dia. 40	40.05	40	40	40	40.05
3	Dia. 37.5	37.5	37.5	37.55	37.55	37.55
4	30	30.1	30.15	30.15	30.1	30.1

4.5.2 Head Cylinder

Setelah program dibuat, benda kerja dibuat dengan mengeksekusi program tersebut. Sebelum dieksekusi, G Code diperiksa dengan melakukan *running test*. Pada saat *running test*, G Code disimulasikan menggunakan *software* pemeriksa G Code seperti pada gambar 4.18 (a) dan dieksekusi pada mesin tanpa memotong benda kerja (*dry run*) seperti pada gambar 4.18 (b). Dari hasil simulasi dan *dry run*, G Code yang dibuat tidak memiliki kesalahan tiap barisnya. Setelah dipastikan tidak terdapat kesalahan pada G Code, maka benda kerja dapat dibuat.



Gambar 4. 18 *Running Test* (a) Simulasi *Milling* Operasi Pertama pada *Software* Pemeriksa G Code (b) *Dry Run*



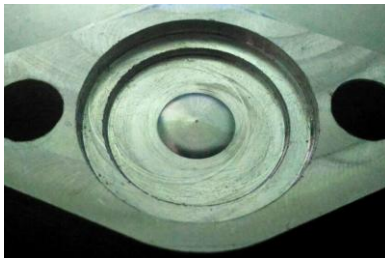
Gambar 4. 19 Dimensi yang Diukur pada Model *Head Cylinder*

Setelah Komponen dibuat, komponen diukur untuk memastikan bahwa pergerakan pahat potong sudah sesuai dengan dimensi produk. Kedalaman dan ketebalan diukur menggunakan *dial indicator* dengan kecermatan 0.01 mm. Sedangkan diameter diukur menggunakan jangka sorong dengan kecermatan 0.05 mm. Bagian yang diukur dapat dilihat pada gambar 4.19. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.9. Dari hasil pengukuran, dimensi produk berada pada toleransinya. Dapat disimpulkan program yang dihasilkan oleh CAM Topsolid sudah sesuai dengan dimensi produk. Perbedaan penyimpangan pada kedalaman 2, mm dan 3 mm dengan dimensi lainnya dikarenakan adanya penyimpangan pada ketebalan komponen dan perbedaan referensi pengukuran, dimana kedalaman 2 mm, dan 3 mm diukur dari permukaan atas komponen sedangkan ketebalan 13 mm, 16 mm, dan 19 mm diukur dari permukaan bawah komponen.

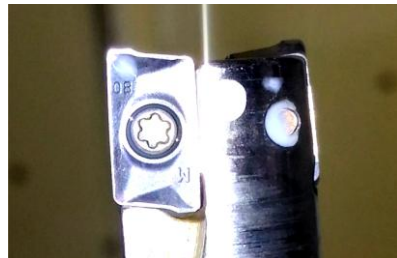
Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Model *Head Cylinder*

No	Dimensi	Pengukuran				
		I	II	III	IV	V
1	13	12.89	12.82	12.86	12.86	12.89
2	16	15.85	15.83	15.83	15.84	15.83
3	19	18.87	18.86	18.86	18.87	18.86
4	2	2	2	2	2	2
5	3	3	3	3	3	3
6	Dia. 20	21.8	21.85	21.85	21.8	21.85
7	Dia. 25	24.8	24.8	24.85	24.85	24.85

Pada bagian *pocket* terdapat bagian timbul seperti pada gambar 4.20 (a). Hal tersebut dikarenakan pahat potong yang digunakan adalah pahat potong *end mill* dengan *insert carbide* yang timbul pada bagian sisinya seperti pada gambar 4.20(b). Sedangkan pada simulasi pahat potong *end mill* memiliki permukaan yang datar.



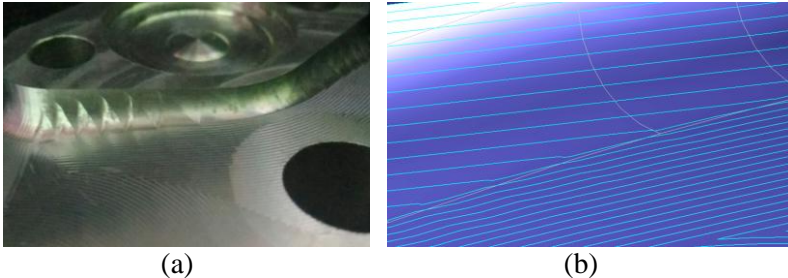
(a)



(b)

Gambar 4. 20 Fitur *Pocket* dan Pahat Potong (a) Bagian *Pocket* pada Produk (b) Pahat Potong yang Digunakan

Pada bagian dinding sambungan pipa radiator terdapat pola kasar seperti pada gambar 4.21 (a). Hal tersebut dikarenakan terjadi perubahan pergerakan dari 2 axis (XY) menjadi 3 axis (XYZ) pada *toolpath* di bagian tersebut. *Toolpath* pada bagian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.21 (b).

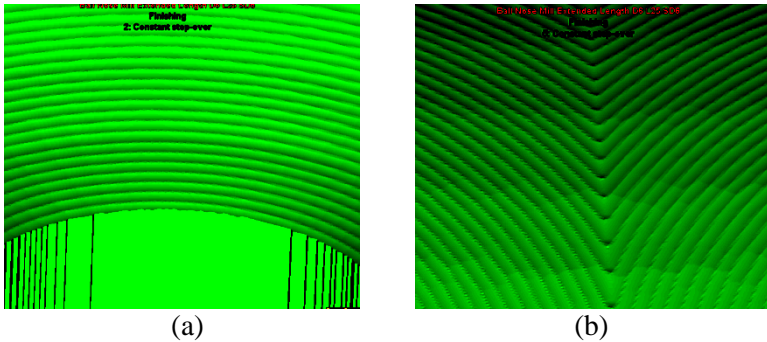


Gambar 4. 21 (a) Dinding Sambungan Pipa Radiator (b) *Toolpath* pada Dinding Sambungan Pipa Radiator

Hasil proses pemesinan pada permukaan yang memiliki profil 3D terlihat kasar seperti pada gambar 4.22 (a) dan (b). Hal tersebut dikarenakan oleh pemilihan *step over* yang kurang tepat. Pemilihan *step over* harus berdasarkan pada nilai kekasaran suatu produk. Fitur *scallop height* pada Topsolid7 dapat digunakan untuk menentukan nilai *step over* berdasarkan kekasaran dengan menginput nilai *theoretical roughness depth*.



Gambar 4. 22 Hasil Pemesinan pada Permukaan 3D (a) Operasi 1
(b) Operasi 2



Gambar 4. 23 Hasil Verifikasi pada Permukaan 3D (a) Operasi 1
(b) Operasi 2

Permukaan hasil proses pemesinan dapat diprediksi melalui tampilan permukaan yang ditampilkan pada hasil verifikasi. Gambar 4.23 (a) dan (b) merupakan hasil verifikasi pada permukaan 3D. Pada gambar tersebut terlihat permukaan yang dihasilkan proses pemesinan tampak kasar dengan garis-garis hasil pemotongan pahat potong.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Untuk menggunakan *software* Topsolid CAM diperlukan data sebagai berikut : Gambar 3D komponen, bentuk dan dimensi *raw material*, dan Rencana Proses.
2. Untuk membuat *toolpath* langkah-langkah yang dilakukan adalah : menentukan mesin yang akan digunakan, menentukan proses yang akan dilakukan, menentukan parameter proses, dan menentukan *cutting strategy*.
 - a. Pilihan proses untuk mesin 2 *axis* terdapat pada *turning* Tab dengan pilihan proses *roughing*, *finishing*, *grooving* dan *threading*.
 - b. Pilihan proses untuk mesin 3 *axis* terdapat pada 2D/3D Tab dengan pilihan proses *roughing*, *finishing*, *sweeping*, *end milling*, *side milling*, *slot milling* dan *hole machining*.
 - c. Pilihan Proses untuk mesin 5 *axis* terdapat pada 4D/3D Tab dengan pilihan proses *swarfing*, *countouring* dan *5 axis sweeping*.
3. Untuk *control* Siemens *turn*, G Code diganti/disesuaikan secara manual. Beberapa fungsi yang harus disesuaikan dengan mesin yang digunakan yaitu : *tool change*, *home position*, *work coordinate system offset*, *cycle function*, *input radius*, *tool height compensation*, putaran *spindle*, dan deaktivasi *diameter dimensioning* .

5.2 Saran

1. *Software* Topsolid7 yang terdapat di Lab. CAE hanya memiliki *post processor* untuk *control* Fanuc 3 axis, dan tidak tersedia *software* Topsolid.PpGenerator untuk membuat *post processor* lainnya maka :
 - a. Perlu ditambahkan *post processor* untuk berbagai jenis mesin pada *software* Topsolid7 yang terdapat di Lab. CAE Teknik Mesin ITS.
 - b. Perlu ditambahkan *software* Topsolid.PpGenerator pada paket *software* Topsolid7 yang terdapat di Lab. CAE Teknik Mesin ITS.
 - c. Perlu dilakukan kajian lanjutan dalam pembuatan *post processor* menggunakan *software* Topsolid.PpGenerator.

DAFTAR PUSTAKA

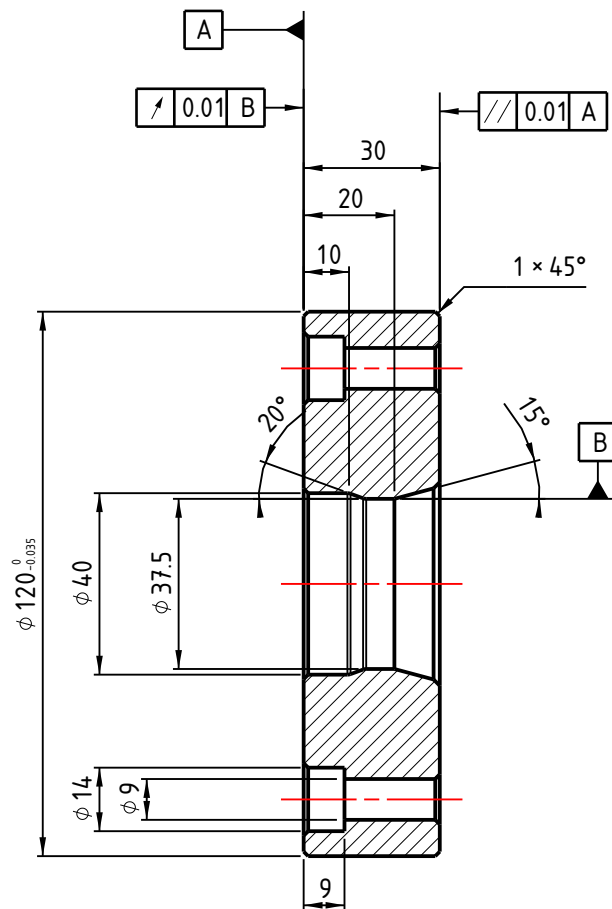
- A. Schey, Jhon. 2000. *Introduction to Manufacturing Processes*. Boston: McGraw-Hill.
- Abriyanto, Heru Setyawan. 2016. Aplikasi CAM NX *Machining* pada Pembuatan *Dies* untuk Selongsong Peluru Kaliber 20 mm. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- Artha, Gandhi Widhi. 2015. Perancangan *Die Set* untuk Proses *Ironing* Selongsong Peluru Kaliber 20 milimeter. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- CATIA *Machining*. Brosur Dassault Group. Velizy-Villacoublay, France.
- CMM *Inspection Programming*. Brosur Siemens PLM Software. Texas, U.S..
- Fischer, Ulrich. 2010. *Mechanical and Metal Trades Handbook*. Haan-Gruiten: Verlag Europa Lehrmittel
- Getting Started with MasterCAM Lathe*. Manual CNC Software, Inc. Gig Harbor, U.S.A.
- Idiar. 2016. Rancang Bangun Cetakan *Deep Drawing Cup* Silindris untuk Selongsong Peluru caliber 20 milimeter. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- Quick Tour CimatronE 9.0 Tutorial*. Manual Cimatron Group.
- Rao, P.N., Tewari N.K., dan Kundra T.K.. 1999. *Computer Aided Manufacturing*. New Delhi: McGraw-Hill.
- Rochim, Taufiq. 1993. Teori dan Teknologi Proses Pemesinan. Bandung: Penerbit ITB
- Rochim, Taufiq. 2001. Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas geometrik Jilid 1 dan 2. Bandung: Penerbit ITB.
- Topsolid's CAM 7 *Tutorial*. Manual Missler Software. Evry, France.
- Topsolid's *Design 7 Basics Turorial*. Manual Missler Software. Evry, France.
- Xu, Xun. 2009. *Integrating Advance Computer Aided Design, Manufacturing, and Numerical Control Principle and Implementation*. New York: Information Science Reference.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

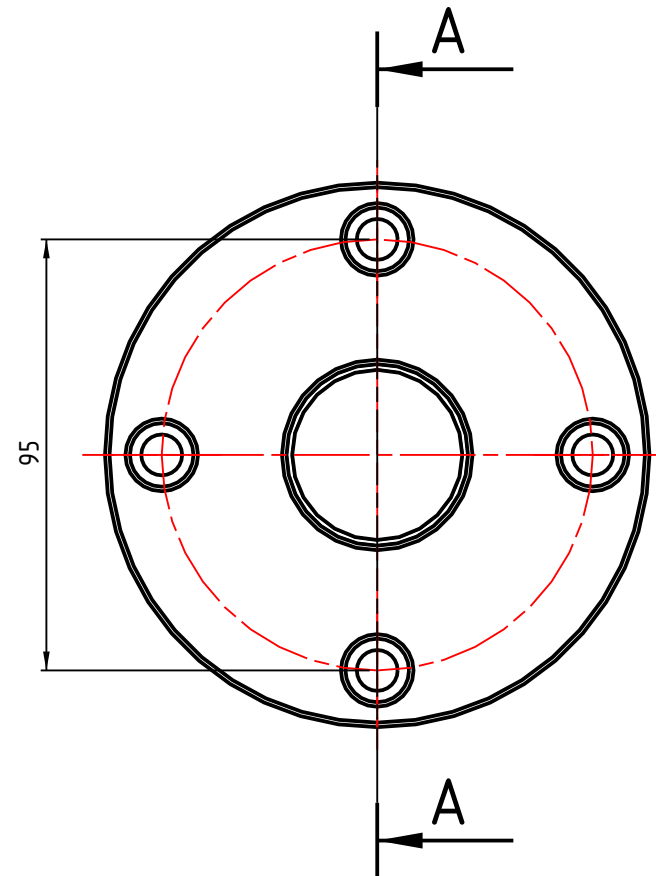
LAMPIRAN

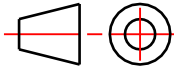
A

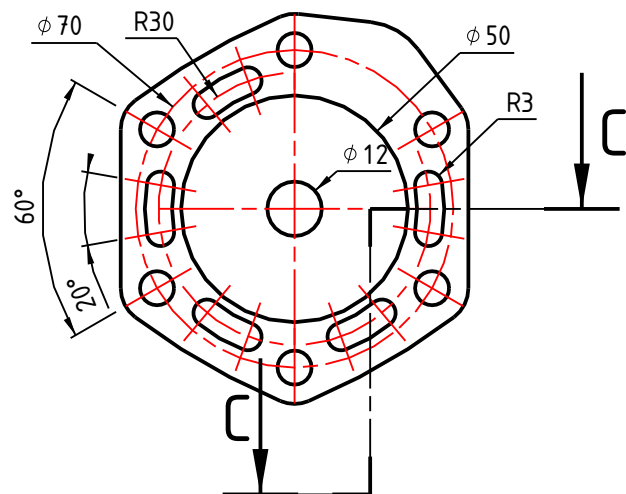
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



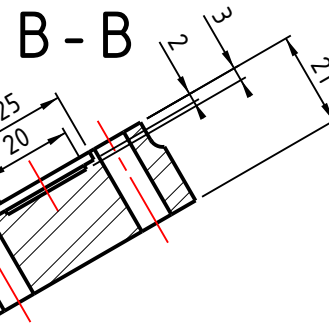
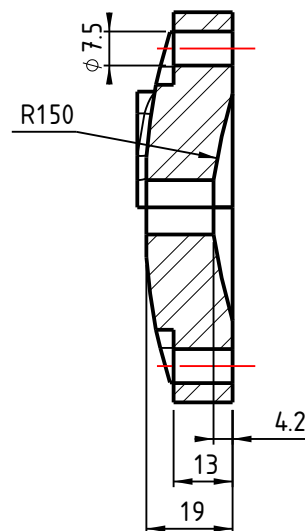
A - A



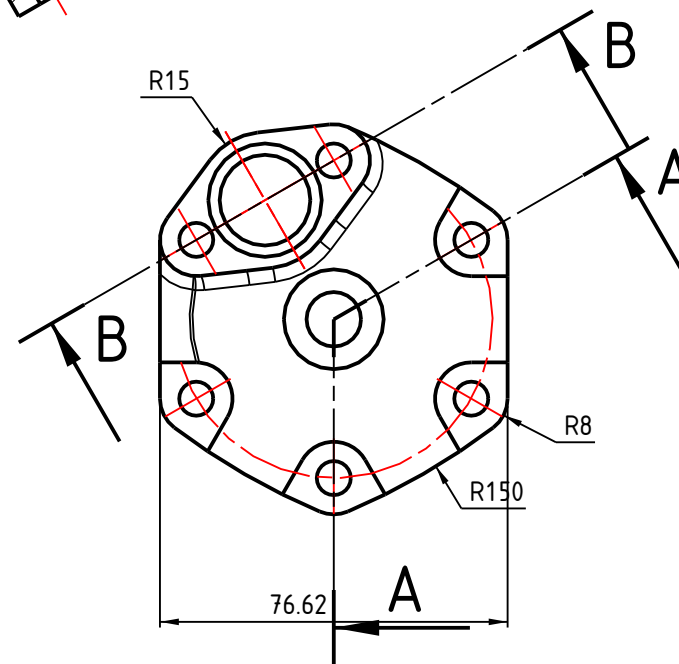
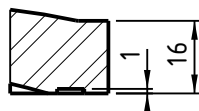
Material:-	Mass:	General Tolerances: -			
Coating: -	-	General Surface Finish:-			
Description: - Part Number: -		Author: Dicky Rachmat R		A4	
		Date: 7/25/2017			
				Scl 3 : 5	Rev A
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Sukolilo - Surabaya 60111		Project: Dies -			

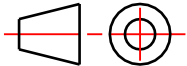


A - A



C - C



Material: AU4G	Mass:	General Tolerances: -			
Coating: -	-	General Surface Finish:-			
Description: - Part Number: -	Author: Dicky Rachmat R		A4		
	Date: 7/29/2017				
			Scl 2 : 1	Rev A	Folio 1/1
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Sukolilo - Surabaya 60111		Project: Imp -			


LAMPIRAN B

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Drilling

Twist drills of high-speed steel (HSS)

cf. DIN 1414-1 (2006-11)

	Type ¹⁾	Application	Helix angle ²⁾	Point angle ³⁾
	N	Universal application for materials up to $R_m \approx 1000 \text{ N/mm}^2$, e.g. structural, case-hardened, quenched and tempered steels	30°–40°	118°
	H	Drilling of brittle, short-chipping non-ferrous metals and plastics, e.g. CuZn alloys and PMMA (Plexiglas)	13°–19°	118°
	W	Drilling of soft, long-chipping non-ferrous metals and plastics, e.g. Al and Mg alloys, PA (polyamide) and PVC	40°–47°	130°

¹⁾ Tool application groups for HSS tools according to DIN 1835
²⁾ Depends on drill diameter and pitch
³⁾ Standard version

Standard values for drilling with HSS twist drills¹⁾

Workpiece material		Cutting speed ²⁾ v_c m/min	Drill diameter d in mm				
Material group	Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB		2-3	>3-6	>6-12	>12-25	>25-50
			Feed f in mm/revolution				
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	40	0.05	0.10	0.15	0.25	0.35
Steels, high strength	$R_m > 800$	20	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
Stainless steels	$R_m \leq 800$	12	0.03	0.06	0.08	0.12	0.18
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	20	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60
Al alloys	$R_m \leq 350$	45	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60
Cu alloys	$R_m \leq 500$	60	0.10	0.15	0.30	0.40	0.60
Thermoplastics	–	50	0.10	0.15	0.30	0.40	0.60
Thermoset plastics	–	25	0.05	0.10	0.18	0.27	0.35

Standard values for drilling with carbide drills¹⁾

Workpiece material		Cutting speed ²⁾ v_c m/min	Drill diameter d in mm				
Material group	Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB		2-3	>3-6	>6-12	>12-25	>25-50
			Feed f in mm/revolution				
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	90	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40
Steels, high strength	$R_m > 800$	80	0.08	0.13	0.20	0.30	0.40
Stainless steels	$R_m \leq 800$	40	0.08	0.13	0.20	0.30	0.40
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	100	0.10	0.15	0.30	0.45	0.70
Al alloys	$R_m \leq 350$	180	0.15	0.25	0.40	0.60	0.80
Cu alloys	$R_m \leq 500$	200	0.12	0.16	0.30	0.45	0.60
Thermoplastics	–	80	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40
Thermoset plastics	–	80	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40

Standard values for modified conditions

Standard values for cutting speed and feed are valid for moderate usage conditions:
 • tool life approx. 30 min • average strength of material • hole depth $< 5 \cdot d$ • short drill
 Standard values are • increased for more favorable conditions,
 • decreased for unfavorable conditions

¹⁾ For cooling lubricants, see pages 292 and 293

²⁾ Values for coated drills

Reaming and tapping

Standard values for reaming with HSS reamers¹⁾

Workpiece material		Cutting speed v_c m/min	Tool diameter d in mm					Reaming allow. for d in mm	
Material group	Tens. strength R_m in N/mm ² or Hardness HB		2-3	>3-6	>6-12	>12-25	>25-50	to 20	>20-50
			Feed f in mm/revolution						
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	15	0.06	0.12	0.18	0.32	0.50	0.20	0.30
Steels, high strength	$R_m > 800$	10	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
Stainless steels	$R_m \leq 800$	8	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	15	0.06	0.12	0.18	0.32	0.50		
Al alloys	$R_m \leq 350$	26	0.10	0.18	0.30	0.50	0.80	0.30	0.60
Cu alloys	$R_m \leq 500$	26	0.10	0.18	0.30	0.50	0.80		
Thermoplastics	—	14	0.12	0.20	0.35	0.60	1.00		
Thermoset plastics	—	14	0.12	0.20	0.35	0.60	1.00		

Standard values for reaming with carbide tooling¹⁾

Workpiece material		Cutting speed v_c m/min	Tool diameter d in mm					Reaming allow. for d in mm	
Material group	Tens. strength R_m in N/mm ² or Hardness HB		2-3	>3-6	>6-12	>12-25	>25-50	to 20	>20-50
			Feed f in mm/revolution						
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	15	0.06	0.12	0.18	0.32	0.50	0.20	0.30
Steels, high strength	$R_m > 800$	10	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
Stainless steels	$R_m \geq 800$	10	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	25	0.10	0.18	0.28	0.50	0.80		
Al alloys	$R_m \leq 350$	30	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00	0.30	0.60
Cu alloys	$R_m \leq 500$	30	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00		
Thermoplastics	—	20	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00		
Thermoset plastics	—	30	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00		

Standard values for tapping and thread forming¹⁾

Workpiece material		HSS tool		Carbide tool	
Material group	Tens. strength R_m in N/mm ² or Hardness HB	Tapping ²⁾	Thread forming ²⁾	Tapping ²⁾	Thread forming ²⁾
		Cutting speed v_c m/min		Cutting speed v_c m/min	
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	40-50	40-50	—	40-60
Steels, high strength	$R_m > 800$	20-30	15-20	—	20-30
Stainless steels	$R_m \leq 800$	8-12	10-20	—	20-30
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	15-20	—	25-35	—
Al alloys	$R_m \leq 350$	20-40	30-50	60-80	60-80
Cu alloys	$R_m \leq 500$	30-40	25-35	30-40	50-70
Thermoplastics	—	20-30	—	50-70	—
Thermoset plastics	—	10-15	—	25-35	—

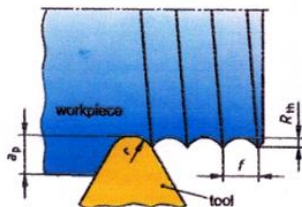
¹⁾ For cooling lubricants, see pages 292 and 293

²⁾ Upper limit values: for material groups with lower strengths; short threads

Lower limit values: for material groups with higher strengths; long threads

Turning

Roughness depth depending on tool nose radius and feed



R_{th} theoretical roughness depth
 r tool nose radius
 f feed
 a_p cutting depth

Example:

$$R_{th} = 25 \mu\text{m}; r = 1.2 \text{ mm}; f = ?$$

$$f = \sqrt{8 \cdot r \cdot R_{th}}$$

$$= \sqrt{8 \cdot 1.2 \text{ mm} \cdot 0.025 \text{ mm}} = 0.5 \text{ mm}$$

$$R_{th} \approx \frac{f^2}{8 \cdot r}$$

$$R_{th} = R_z$$

Rough. depth R_{th} in μm	Nose radius r in mm			
	0.4	0.8	1.2	1.6
1.6	0.07	0.10	0.12	0.14
4	0.11	0.16	0.20	0.23
10	0.18	0.25	0.31	0.36
16	0.23	0.32	0.39	0.45
25	0.28	0.40	0.49	0.57

Standard values for turning with HSS tools¹²⁾

Workpiece material		Cutting speed v_c in m/min	Feed f in mm	Cutting depth a_p in mm
Material group	Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB			
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	40–80	0.1–0.5	0.5–4.0
Steels, high strength	$R_m > 800$	30–60		
Stainless steels	$R_m \geq 800$	30–60		
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250 \text{ HB}$	20–35		
Al alloys	$R_m \leq 350$	120–180		
Cu alloys	$R_m \leq 500$	100–125		
Thermoplastics	–	100–500		
Thermoset plastics	–	80–400		

Standard values for turning using coated carbide tools²⁾

Workpiece material		Cutting speed v_c in m/min	Feed f in mm	Cutting depth a_p in mm
Material group	Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB			
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	200–350	0.1–0.5	0.3–5.0
Steels, high strength	$R_m > 800$	100–200		
Stainless steels	$R_m \geq 800$	80–200		
Cast iron, malleable cast iron	$\leq 250 \text{ HB}$	100–300		
Al alloys	$R_m \leq 350$	400–800		
Cu alloys	$R_m \leq 500$	150–300		
Thermoplastics	–	500–2000		
Thermoset plastics	–	400–1000		

Application of the cutting data range

Example: Standard values for turning of steels with lower strengths using carbide tools

Upper values	Application	Lower values	Application
$v_c = 350 \text{ m/min}$	• finish machining (finishing) • stable tool and workpiece	$v_c = 200 \text{ m/min}$	• premachining (roughing) • unstable tool or workpiece
$f = 0.5 \text{ mm},$ $a_p = 5.0 \text{ mm}$	• premachining (roughing) • stable tool and workpiece	$f = 0.1 \text{ mm},$ $a_p = 0.3 \text{ mm}$	• finish machining (finishing) • unstable tool or workpiece

¹⁾ HSS lathe tools have for the most part been replaced by lathe tools with carbide indexable inserts.

²⁾ Machining coolant, see pages 292 and 293

Milling

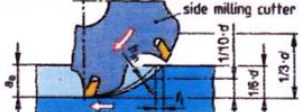
Standard values for milling with HSS milling cutters

Material group	Workpiece material Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB	Cutting speed v_c in m/min	Milling cutter (except for end mill)	Feed f_z in mm End mill d in mm		
				6	12	20
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	50-100	0.05-0.15	0.06	0.08	0.10
Steels, high strength	$R_m > 800$	30-60				
Stainless steels	$R_m \geq 800$	15-30				
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	25-40				
Al alloys	$R_m \leq 350$	50-150				
Cu alloys	$R_m \leq 500$	50-100	0.10-0.20	0.10	0.15	0.20
Thermoplastics	-	100-400				
Thermoset plastics	-	100-400				

Standard values for milling with coated carbide

Material group	Workpiece material Tensile strength R_m in N/mm ² or Hardness HB	Cutting speed v_c in m/min	Milling cutter (except for end mill)	Feed f_z in mm End mill d in mm		
				6	12	20
Steels, low strength	$R_m \leq 800$	200-400	0.05-0.15	0.06	0.08	0.10
Steels, high strength	$R_m > 800$	150-300				
Stainless steels	$R_m \geq 800$	150-300				
Cast iron, malleable cast iron	≤ 250 HB	150-300				
Al alloys	$R_m \leq 350$	400-800				
Cu alloys	$R_m \leq 500$	200-400	0.10-0.20	0.10	0.15	0.20
Thermoplastics	-	500-1500				
Thermoset plastics	-	400-1000				

Increasing the recommended feed per cutting edge f_z for slotting with side milling cutters

	Feed per tooth	Cutting depth a_p based on the milling cutter $\varnothing d$			
		$1/3 \cdot d$	$1/6 \cdot d$	$1/10 \cdot d$	$1/20 \cdot d$
	increase	$1 \cdot f_z$	$1.15 \cdot f_z$	$1.45 \cdot f_z$	$2 \cdot f_z$
	to be adjusted	0.25 mm	0.29 mm	0.36 mm	0.50 mm

Meanings of cutting data ranges

Example: Standard values for milling of low-strength steels using HSS milling cutters

Upper values	Application	Lower values	Application
$v_c = 100$ m/min	• finish machining (finishing) • rigid tool and workpiece	$v_c = 50$ m/min	• premachining (roughing) • low rigidity of tool or workpiece
$f_z = 0.15$ mm	• premachining (roughing) • rigid tool and workpiece	$f_z = 0.05$ mm	• finish machining (finishing) • low rigidity of tool or workpiece

Calculation of feed rate

v_f feed rate in mm/min
 f_z feed per tooth in mm
 n rotational speed of milling cutter in 1/min
 N number of teeth

Example:

$v_c = 100$ m/min; $d = 40$ mm; $f_z = 0.12$ mm; $N = 10$

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{100 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0.04 \text{ m}} = 796 \text{ 1/min}; \quad v_f = n \cdot f_z \cdot N = 796 \text{ 1/min} \cdot 0.12 \text{ mm} \cdot 10 = 955 \text{ mm/min}$$

Feed rate

$$v_f = n \cdot f_z \cdot N$$

LAMPIRAN C

xxx

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

NC PROGRAM (G CODE)

PRODUK : DIES IRONING DIAMETER 37.5
OPERASI : 1
MESIN : CNC TURNING
CONTROL : SIEMENS
FILE TYPE : MPF

;IRONING DIES OP1	X0	X64.655 Z-32.486
G0 G40	G40 X1.414 Z1.814	G0 Z2.1
G90	G0 Z5.1 M9	X62.769
G54		G1 Z-33.9
G75 X0 Z0	;CONTOURING	X64.183 Z-32.486
	G96 S200 M3	G0 Z2.1
;EXTERNAL TURN	X69.	X62.297
T2 D1	M8	G1 Z-33.9
G54 G90	G1 G41 X71. Z5. F.1	X63.711 Z-32.486
DIAMOF	G3 X66. Z0 CR=5.	G0 Z2.1
G0 X67.6	G1 X59.	X61.825
LIMS=1000	X21.	G1 Z-33.9
	X0	X63.239 Z-32.486
;ROUGHING	G40 Z2.1	G0 Z2.1
G96 S100 M3		X61.353
G18	;ROUGHING	G1 Z-33.9
X67.6 Z1.675	G96 S100 M3	X62.767 Z-32.486
M8	G0 X65.128	G0 Z2.1
G1 X0 F.3	G1 Z-33.9 F.3	X60.881
Z3.675	X66.542 Z-32.486	G1 Z-33.9
G0 X67.6	G0 Z2.1	X62.296 Z-32.486
Z1.25	X64.656	G0 Z2.1
G1 X0	G1 Z-33.9	X60.409
Z3.25	X66.07 Z-32.486	G1 Z-33.9
G0 X67.6	G0 Z2.1	X61.824 Z-32.486
Z.825	X64.184	G0 Z2.1
G1 X0	G1 Z-33.9	X59.938
Z2.825	X65.599 Z-32.486	G1 Z-372
G0 X67.6	G0 Z2.1	X61.352 Z1.042
Z.4	X63.713	G0 Z2.1
G1 X0	G1 Z-33.9	X59.466
X1.414 Z1.814	X65.127 Z-32.486	G1 Z.1
G0 Z2.248	G0 Z2.1	X60.88 Z1.514
X68.365	X63.241	G0 X61.313
G1 G41 X67.6 Z.5	G1 Z-33.9	Z2.865

G1 G42 X59.366 Z2.1	;TWISTED DRILL D12	
Z.1	T8 D1	
G2 X59.395 Z.029	G54 G90	;ROUGHING
CR=.1		G96 S100 M4
G1 X60.3 Z-.876	;DRILLING	G18
Z-33.9	G95 S531 M3	X12.891
G2 X60.4 Z-34. CR=.1	G17	Z2.1
G1 X65.6	X0	M8
G40 X67.014 Z-	Z2.	G1 Z-52.6 F.3
32.486	M8	X11.477 Z-51.186
G0 Z3.606	F.1	G0 X10.986
	CYCLE83 (2,0,2,-	Z2.1
;CONTOURING	56.605,,,5,-	G41 X13.282 D2
G96 S200 M3	1,0,0,1,0,,5,2,0,0)	G1 Z-52.6
X59.606	G0 Z2.	G40 X11.968 Z-
G1 G42 X57.536	M9	51.186
Z3.536 F.1	G75 X0 Z0	G0 X11.477
G2 X59. Z0 R5.	M5	Z2.1
G1 X60. Z-1.		G41 X13.773
Z-29.	;TWISTED DRILL D25	G1 Z-52.6
Z-31.5	T6 D1	G40 X12.459 Z-
G40 X62.1	G54 G90	51.186
G0 Z12. M9		G0 X11.968
G75 X0 Z0	;DRILLING	Z2.1
M5	G95 S255 M3	G41 X14.264
	G17	G1 Z-52.6
;CENTER DRILL	X0	G40 X12.95 Z-51.186
T6 D1	Z2.	G0 X12.459
G54 G90	M8	Z2.1
	F.1	G41 X14.755
;CENTERING/POINTI	CYCLE83 (2,0,2,-	G1 Z-52.6
NG	61.011,,,4,-	G40 X13.441 Z-
G95 S400 M3	1,0,0,1,0,,4,2,0,0)	51.186
G17	G0 Z2.	G0 X12.95
X0	M9	Z2.1
Z2.	G75 X0 Z0	G41 X15.246
M8	M5	G1 Z-52.6
F.1		G40 X13.932 Z-
CYCLE81 (2,0,2,-1.5,)	;INTERNAL TURN	51.186
G0 Z2.	T2 D1	G0 X13.441
M9	G54 G90	Z2.1
G75 X0 Z0	DIAMOF	G41 X15.737
M5	G0 12.891	G1 Z-52.6
	LIMS=1000	

G40 X14.423 Z-
51.186
G0 X13.932
Z2.1
G41 X16.228
G1 Z-52.6
G40 X14.914 Z-
51.186
G0 X14.423
Z2.1
G41 X16.719
G1 Z-52.6
G40 X15.404 Z-
51.186
G0 X14.914
Z2.1
G41 X17.21
G1 Z-52.6
G40 X15.895 Z-
51.186
G0 X15.404
Z2.1
G41 X17.701
G1 Z-52.6
G40 X16.386 Z-
51.186
G0 X15.895
Z2.1
G41 X18.192
G1 Z-52.6

G40 X16.877 Z-
51.186
G0 X16.386
Z2.1
G41 X18.683
G1 Z-12.596
X18.542 Z-12.983
G2 X18.4 Z-13.787
R2.35
G1 Z-51.1
G40 X17.086 Z-
49.686
G0 X16.595
Z2.1
G41 X19.174
G1 Z-11.247
X18.689 Z-12.58
G40 X17.368 Z-11.2
G0 Z2.1
G41 X19.665
G1 Z-.845
G2 X19.65 Z-.896 R.1
G1 Z-9.647
G3 X19.55 Z-10.212
R1.65
G1 X19.18 Z-11.231
G40 X17.859 Z-9.851
G0 Z2.1
G41 X20.155
G1 Z-.35

X19.694 Z-.811
G40 X18.35 Z.532
G0 Z2.1
G41 X20.646
G1 Z.141
X20.185 Z-.32
G40 X18.841 Z1.023
M9

;COPYING
G96 S200 M3
G0 X19.515 Z5.728
M8
G1 G41 X21. Z7.071
F.1
G3 X21. Z0 R5.
G1 X20. Z-1.
Z-9.647
G3 X19.879 Z-10.331
CR=2.
G1 X18.871 Z-13.103
G2 X18.75 Z-13.787
CR=2.
G1 Z-20.
Z-49.
G40 X16.65
G0 Z12. M9
G75 X0 Z0
M5
M2

NC PROGRAM

PRODUK : DIES IRONING DIAMETER 37.5
OPERASI : 2
MESIN : CNC TURNING
CONTROL : SIEMENS
FILE TYPE : MPF

;DIES IRONING OP2	G1 X15.5	G1 X15.65
G0 G40	G40 X16.914	G40 X17.064
G90	Z20.547	Z17.597
G54	G0 Z21.039	G0 Z18.089
G75 X0 Z0	X67.6	X67.6
	G41 Z18.742	G41 Z15.791
;EXTERNAL TURN	G1 X15.65	G1 X15.65
T1 D1	G40 X17.064	G40 X17.064
G54 G90	Z20.056	Z17.106
DIAMOF	G0 Z20.547	G0 Z17.597
G0 X67.6	X67.6	X67.6
LIMS=1000	G41 Z18.25	G41 Z15.3
	G1 X15.65	G1 X15.65
;ROUGHING	G40 X17.064	G40 X17.064
G96 S100 M3	Z19.564	Z16.614
G18	G0 Z20.056	G0 Z17.106
X67.6	X67.6	X67.6
Z20.608	G41 Z17.758	G41 Z14.808
M8	G1 X15.65	G1 X15.65
G1 X15.5 F.3	G40 X17.064	G40 X17.064
X16.914 Z22.023	Z19.072	Z16.122
G0 Z22.514	G0 Z19.564	G0 Z16.614
X67.6	X67.6	X67.6
G41 Z20.217 D1	G41 Z17.266	G41 Z14.316
G1 X15.5	G1 X15.65	G1 X15.65
G40 X16.914	G40 X17.064	G40 X17.064
Z21.531	Z18.581	Z15.631
G0 Z22.023	G0 Z19.072	G0 Z16.122
X67.6	X67.6	X67.6
G41 Z19.725	G41 Z16.775	G41 Z13.825
G1 X15.5	G1 X15.65	G1 X15.65
G40 X16.914	G40 X17.064	G40 X17.064
Z21.039	Z18.089	Z15.139
G0 Z21.531	G0 Z18.581	G0 Z15.631
X67.6	X67.6	X67.6
G41 Z19.233	G41 Z16.283	G41 Z13.333

G1 X15.65	G41 Z9.399	X67.6
G40 X17.064	G1 X15.65	G41 Z4.974
Z14.647	G40 X17.064	G1 X15.65
G0 Z15.139	Z10.714	G40 X17.064 Z6.288
X67.6	G0 Z11.205	G0 Z6.78
G41 Z12.841	X67.6	X67.6
G1 X15.65	G41 Z8.908	G41 Z4.483
G40 X17.064	G1 X15.65	G1 X15.65
Z14.156	G40 X17.064	G40 X17.064 Z5.797
G0 Z14.647	Z10.222	G0 Z6.288
X67.6	G0 Z10.714	X67.6
G41 Z12.35	X67.6	G41 Z3.991
G1 X15.65	G41 Z8.416	G1 X15.65
G40 X17.064	G1 X15.65	G40 X17.064 Z5.305
Z13.664	G40 X17.064 Z9.73	G0 Z5.797
G0 Z14.156	G0 Z10.222	X62.25
X67.6	X67.6	G41 Z3.499
G41 Z11.858	G41 Z7.924	G1 X15.65
G1 X15.65	G1 X15.65	G40 X17.064 Z4.813
G40 X17.064	G40 X17.064 Z9.239	G0 Z5.305
Z13.172	G0 Z9.73	X62.25
G0 Z13.664	X67.6	G41 Z3.008
X67.6	G41 Z7.433	G1 X15.65
G41 Z11.366	G1 X15.65	G40 X17.064 Z4.322
G1 X15.65	G40 X17.064 Z8.747	G0 Z4.813
G40 X17.064 Z12.68	G0 Z9.239	X62.25
G0 Z13.172	X67.6	G41 Z2.516
X67.6	G41 Z6.941	G1 X15.65
G41 Z10.875	G1 X15.65	G40 X17.064 Z3.83
G1 X15.65	G40 X17.064 Z8.255	G0 Z4.322
G40 X17.064	G0 Z8.747	X62.25
Z12.189	X67.6	G41 Z2.024
G0 Z12.68	G41 Z6.449	G1 X15.65
X67.6	G1 X15.65	G40 X17.064 Z3.338
G41 Z10.383	G40 X17.064 Z7.764	G0 Z3.83
G1 X15.65	G0 Z8.255	X62.25
G40 X17.064	X67.6	G41 Z1.532
Z11.697	G41 Z5.958	G1 X15.65
G0 Z12.189	G1 X15.65	G40 X17.064 Z2.847
X67.6	G40 X17.064 Z7.272	G0 Z3.338
G41 Z9.891	G0 Z7.764	X62.1
G1 X15.65	X67.6	G41 Z1.041
G40 X17.064	G41 Z5.466	G1 X15.65
Z11.205	G1 X15.65	G40 X17.064 Z2.355
G0 Z11.697	G40 X17.064 Z6.78	G0 Z2.847
X67.6	G0 Z7.272	X62.1

G41 Z.549
G1 X15.65
G40 X17.064 Z1.863
G0 Z2.355
X62.1
G41 Z.057
G1 X59.65
X59.236 Z.471
G2 X59.166 Z.5 R.1
G1 X18.65
G40 X20.064 Z1.814
G0 Z2.306
X62.1
G41 Z-.434
G1 X60.141
X59.679 Z.028
G40 X61.023 Z1.372
M9

;CONTOURING

G96 S200 M3
G0 X65.728 Z.485
M8
G1 G41 X67.071 Z-1.
F.1
G3 X60. Z-1. R5.
G1 X59. Z0
X22.429
X17.429
G40 Z2.1
G0 Z31.5 M9
G75 X0 Z0
M5

;INTERNAL TURN

T3 D1
G54 G90

;ROUGHING

G96 S100 M3
G18
G0 G90 X18.999
Z23.1
M8
G1 G41 X18.903 Z-
7.498 D2 F.3

X18.557 Z-8.789
G40 X17.239 Z-7.401
G0 Z23.1
G41 X19.399
G1 Z-5.648
X18.903 Z-7.498
G40 X17.585 Z-6.11
G0 Z23.1
G41 X19.898
G1 Z-3.785
X19.402 Z-5.635
G40 X18.084 Z-4.247
G0 Z23.1
G41 X20.397
G1 Z-1.921
X19.901 Z-3.772
G40 X18.584 Z-2.384
G0 Z23.1
G41 X20.896
G1 Z-.826
X20.634 Z-1.088
G2 X20.608 Z-1.133
R.1
G1 X20.4 Z-1.909
G40 X19.083 Z-.52
G0 Z23.1
G41 X21.396
G1 Z-.327
X20.926 Z-.797
G40 X19.582 Z.547
G0 Z23.1
G41 X21.895
G1 Z.172
X21.425 Z-.298
G40 X20.081 Z1.046
G0 Z23.1
G41 X22.394
G1 Z.672
X21.924 Z.202
G40 X20.581 Z1.545
G0 Z23.1
G41 X22.893
G1 Z1.171
X22.423 Z.701
G40 X21.08 Z2.044
G0 Z23.1

G41 X23.393
G1 Z1.67
X22.923 Z1.2
G40 X21.579 Z2.544
G0 Z23.1
G41 X23.892
G1 Z2.169
X23.422 Z1.7
G40 X22.078 Z3.043
G0 Z23.1
G41 X24.391
G1 Z2.669
X23.921 Z2.199
G40 X22.578 Z3.542
G0 Z23.1
G41 X24.89
G1 Z3.168
X24.42 Z2.698
G40 X23.077 Z4.042
G0 Z23.1
G41 X25.39
G1 Z3.667
X24.92 Z3.197
G40 X23.576 Z4.541
G0 Z23.1
G41 X25.889
G1 Z4.167
X25.419 Z3.697
G40 X24.075 Z5.04
G0 Z23.1
G41 X26.388
G1 Z4.666
X25.918 Z4.196
G40 X24.575 Z5.539
G0 Z23.1
G41 X26.887
G1 Z5.165
X26.417 Z4.695
G40 X25.074 Z6.039
G0 Z23.1
G41 X27.387
G1 Z5.664
X26.917 Z5.194
G40 X25.573 Z6.538
G0 Z23.1
G41 X27.886

G1 Z6.164
X27.416 Z5.694
G40 X26.072 Z7.037
G0 Z23.1
G41 X28.385
G1 Z6.663
X27.915 Z6.193
G40 X26.572 Z7.536
G0 Z23.1
G41 X28.884
G1 Z7.162
X28.415 Z6.692
G40 X27.071 Z8.036
G0 Z23.1
G41 X29.384
G1 Z7.661
X28.914 Z7.191
G40 X27.57 Z8.535
G0 Z23.1
G41 X29.883
G1 Z8.161
X29.413 Z7.691
G40 X28.07 Z9.034
G0 Z23.1
G41 X30.382
G1 Z8.66
X29.912 Z8.19
G40 X28.569 Z9.533
G0 Z23.1
G41 X30.882
G1 Z9.159
X30.412 Z8.689
G40 X29.068
Z10.033
G0 Z23.1
G41 X31.381
G1 Z9.658
X30.911 Z9.188
G40 X29.567
Z10.532
G0 Z23.1
G41 X31.88
G1 Z10.158
X31.41 Z9.688
G40 X30.067
Z11.031

G0 Z23.1
G41 X32.379
G1 Z10.657
X31.909 Z10.187
G40 X30.566 Z11.53
G0 Z23.1
G41 X32.879
G1 Z11.156
X32.409 Z10.686
G40 X31.065 Z12.03
G0 Z23.1
G41 X33.378
G1 Z11.655
X32.908 Z11.185
G40 X31.564
Z12.529
G0 Z23.1
G41 X33.877
G1 Z12.155
X33.407 Z11.685
G40 X32.064
Z13.028
G0 Z23.1
G41 X34.376
G1 Z12.654
X33.906 Z12.184
G40 X32.563
Z13.528
G0 Z23.1
G41 X34.876
G1 Z13.153
X34.406 Z12.683
G40 X33.062
Z14.027
G0 Z23.1
G41 X35.375
G1 Z13.653
X34.905 Z13.183
G40 X33.561
Z14.526
G0 Z23.1
G41 X35.874
G1 Z14.152
X35.404 Z13.682
G40 X34.061
Z15.025

G0 Z23.1
G41 X36.373
G1 Z14.651
X35.903 Z14.181
G40 X34.56 Z15.525
G0 Z23.1
G41 X36.873
G1 Z15.15
X36.403 Z14.68
G40 X35.059
Z16.024
G0 Z23.1
G41 X37.372
G1 Z15.65
X36.902 Z15.18
G40 X35.558
Z16.523
G0 Z23.1
G41 X37.871
G1 Z16.149
X37.401 Z15.679
G40 X36.058
Z17.022
G0 Z23.1
G41 X38.37
G1 Z16.648
X37.9 Z16.178
G40 X36.557
Z17.522
G0 Z23.1
G41 X38.87
G1 Z17.147
X38.4 Z16.677
G40 X37.056
Z18.021
G0 Z23.1
G41 X39.369
G1 Z17.647
X38.899 Z17.177
G40 X37.556 Z18.52
G0 Z23.1
G41 X39.868
G1 Z18.146
X39.398 Z17.676
G40 X38.055
Z19.019

G0 Z23.1
G41 X40.367
G1 Z18.645
X39.898 Z18.175
G40 X38.554
Z19.519
G0 Z23.1
G41 X40.867
G1 Z19.144
X40.397 Z18.674
G40 X39.053
Z20.018
G0 Z23.1
G41 X41.366
G1 Z19.644
X40.896 Z19.174
G40 X39.553
Z20.517
G0 Z23.1
G41 X41.865
G1 Z20.143
X41.395 Z19.673
G40 X40.052
Z21.016
G0 Z23.1
G41 X42.365
G1 Z20.642
X41.895 Z20.172
G40 X40.551
Z21.516
G0 Z23.1
G41 X42.864
G1 Z21.141
X42.394 Z20.671
G40 X41.05 Z22.015
M9

X18.136 Z-11.906
G40 X16.204 Z-
11.388
G0 Z31.5 M9
G75 X0 Z0
M5
M2

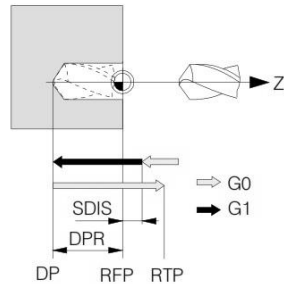
;COPYING
G96 S200 M3
G0 X21.823 Z3.606
M8
G1 G41 X23.823 F.1
G3 X22.359 Z.071
R5.
G1 X20.974 Z-1.314
X18.653 Z-9.974

LAMPIRAN D

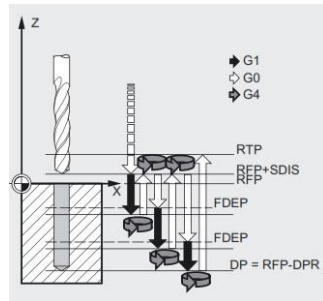
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Siemens Sinumerik Cycle Commonly Used

Center
Drilling



Drilling
Cycle
Format



VARI=1

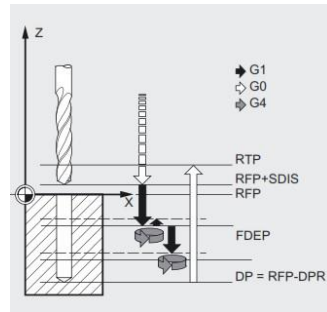
CYCLE81 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR)

RTP – Return plane or Retraction plane (absolute)
RFP – Reference plane (absolute)
SDIS – Safety distance (enter without sign)
DP – Final drilling depth (absolute)
DPR – Final drilling depth relative to reference plane (enter without sign)

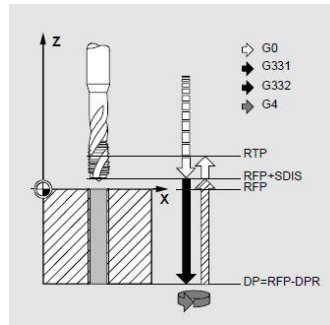
CYCLE83 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, FDEP, FDPR, DAM, DTB, DTS, FRF, VARI)

RTP Retraction plane (absolute)
RFP Reference plane (absolute)
SDIS Safety clearance (enter without sign)
DP Final drilling depth (absolute)
DPR Final drilling depth relative to the reference plane (enter without sign)
FDEP First drilling depth (absolute)
FDPR First drilling depth relative to the reference plane (enter without sign)
DAM Amount of degression (enter without sign)
DTB Dwell time at final drilling depth (chip breaking)
DTS Dwell time at starting point and for swarf removal
FRF Feedrate factor for the first drilling depth (enter without sign)
Range of values: 0.001 ... 1
VARI Machining type (Chip breaking=0, Swarf removal=1)

Rigid Tapping Cycle



VARI=0



CYCLE84(RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB, SDAC, MPIT,PIT, POSS, SST, SST1)

- RTP - Return plane (absolute)
- RFP - Reference plane (absolute)
- SDIS - Safety distance (enter without sign)
- DP - Final drilling depth/elongated hole depth/slot depth/pocket depth (absolute)
- DPR - Final drilling depth/elongated hole depth/slot depth/pocket depth relative to reference plane (enter without sign)
- DTB - Dwell time at final drilling depth (chip breaking)
- SDAC - Direction of rotation after end of cycle Values: 3, 4 or 5
- MPIT - Thread pitch as thread size – 3 (for M3) ... 48 (for M48)
- PIT - Thread pitch; values: 0.001 ... 2000.000 mm
- POSS - Spindle position for oriented spindle stop in cycle (in degrees)
- SST - Speed for tapping
- SST1 - Speed for tapping

BIOGRAFI



Penulis bernama Dicky Rachmat Riyanto, lahir di Bandung pada 5 September 1993, merupakan anak pertama (ke-1) dari pasangan Riyanto dan Siti Mulyani, memiliki seorang adik kandung bernama Fahmi Budi Riyanto. Penulis menempuh pendidikan dasar di Kabupaten Bandung, yaitu di SDN Tegal Wangi (1999-2005) dan SMPN 1 Katapang (2005-2008).

Setelah menyelesaikan pendidikan dasar penulis melanjutkan ke pendidikan menengah di Kabupaten Bandung Barat yaitu di SMAN 1 Cisarua (2008-2011) dengan beasiswa penuh dari Pemerintah Provinsi Jawa Barat melalui Asrama Bina Siswa SMA PLUS Yayasan Darmaloka. Kemudian penulis melanjutkan ke pendidikan tinggi di Politeknik Manufaktur Negeri Bandung (2011-2014) pada tahap Diploma III dengan program studi Teknik Pembuatan Perkakas Presisi (*Tool Making*). Pada Oktober 2014 hingga September 2015 penulis bekerja sebagai *Production Engineering Staff* di PT. Yamaha Motor Parts Manufacturing Indonesia. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2015-2017) pada tahap Strata I. Selama perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember penulis menjadi anggota aktif Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk. Penulis juga pernah menjadi Asisten dan Grader dalam Praktikum Pengukuran Teknik, Perkuliahan Mekanika Fluida dan Perpindahan Panas.

Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk memperbaiki diri, khususnya dalam menambah pengetahuan dan meningkatkan kompetensi penulis. Alamat email penulis yang dapat dihubungi adalah dicky_r_r@yahoo.co.id.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)